FELIX RAWITSCHER

ELEMENTOS BÁSICOS DE BOTÂNICA

2.ª EDIÇÃO

EDIÇÕES MELHORAMENTOS

FELIX RAWITSCHER

Diretor do Departamento de Botânica
da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade
de São Paulo

ELEMENTOS BÁSICOS DE BOTÂNICA

(INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA BOTÂNICA)

2.ª Edição Atualizada

1951

EDIÇÕES MELHORAMENTOS

ÍNDICE

Prefácio 9
PRELIMINARES 11

CAPÍTULO I

A CÉLULA VEGETAL, SEUS ELEMENTOS ESSENCIAIS E SUA ORGANIZAÇÃO 17

CAPÍTULO II

METABOLISMO DA PLANTA 27
1 — *Generalidades* 27
2 — *Fotossíntese* 28
3 — *Respiração* 39
Respiração intramolecular 42
Fermentações 43
4 — *Aproveitamento da água* 46
A — Fôrças de sucção das células em geral 46
B — Absorção 52
C — Transpiração 54
D — Condução 63
Seiva ascendente 64
Seiva elaborada 69
5 — *Absorção dos sais minerais* 71

CAPÍTULO III

ORGANIZAÇÃO DA PLANTA 78
1 — *Traços gerais* 78
2 — *Histologia* 94
A — Tecidos meristemáticos 94
B — Tecidos permanentes 95
a) Parênquima 96
b) Tecidos condutores 100
c) Tecidos mecânicos 113
d) Tecidos tegumentários 114
e) Células e tecidos secretores e excretores 118
3 — *Morfologia dos Órgãos Vegetativos* 121
A — Fôlha 121
B — Caule 136
C — Raiz 143

CAPÍTULO IV

CRESCIMENTO E MOVIMENTOS DA PLANTA 151
1 — *Tactismos* 152
2 — *Movimentos por crescimento* 154
A — Condições gerais do crescimento 154
B — Tropismos 158
C — Nastismos 163
3 — *Movimentos por "variação"* 164

CAPÍTULO V

REPRODUÇÃO E ÓRGÃOS REPRODUTORES DAS PLANTAS 167
1 — *Observações gerais* 167
A — Multiplicação vegetativa 167
B — Reprodução sexuada 172
Copulação 172
Redução 175
Haplofase e Diplofase 177
2 — *Desenvolvimento dos órgãos reprodutores* (explicado através da série filogenética) 178
A — Algumas observações breves sôbre Sistemática e Filogenia 178
B — Grupos sem sexualidade 182
C — Sexualidade nas Algas 187
Isogamia, heterogamia e oogamia 187
Alternância de gerações 191
D — Reprodução nos fungos 194
E — Reprodução nas *Bryophytas* 197
F — Reprodução nas *Pteridophytas* 201
Isosporia e Heterosporia 205
G — Transição para as *Phanerogamas* 207
Permanência dos Megásporos nos Megasporângios da Planta-mãe 207
Tubos polínicos 213
Resumo da involução do gametófito nas plantas superiores 213
Flor, Fruto e Semente 215
H — Representantes mais importantes das famílias principais de plantas superiores 233
Monocotyledoneae 234
Dicotyledoneae 241
Choripetalae 242
Apetalae 251
Sympetalae 253

CAPÍTULO VI

FITOGEOGRAFIA 258
1 — Fitogeografia histórica 259
2 — Fitogeografia ecológica 260
A — Fatôres climáticos 261
a) Temperatura 261
Clima oceânico e clima continental 264
b) Humidade 265
c) Outros fatôres ecológicos 270
B — Solo 271
A lavagem interior do solo 272
Erosão superficial 273
C — Associações 273
Sucessões 275
3 — Formações fitogeográficas do Brasil 277
Zona da hiléia amazônica 278
Zona das caatingas 278
Zona das matas costeiras 280
Zona temperada 280
Zona dos campos 280
Plantas cultivadas 281

PREFÁCIO

Êste pequeno livro — o primeiro de uma série em preparação — expõe, em apanhado sucinto, os capítulos mais importantes da Botânica Geral. Esperamos que possa servir de *orientação* aos que desejam informar-se sôbre os assuntos e problemas básicos da Botânica contemporânea, e de *ponto de partida* aos que queiram iniciar estudos de Botânica mais aprofundados. A êstes talvez seja útil, antes de abrir os compêndios mais especializados da literatura botânica, uma visão geral da organização e do funcionamento do mecanismo vegetal.

Tentamos traçar, tanto quanto possível, linhas gerais, deixando de lado todos os fatos cujo conhecimento não é indispensável à primeira orientação e que o futuro botânico terá ocasião de estudar mais tarde com maiores detalhes. Contudo, nossa exposição abreviada corre, sem dúvida, o perigo de apresentar os fatos de forma mais simples do que na realidade se verificam na natureza. Apelamos, por isso, para a compreensão benevolente do leitor.

Quanto à terminologia técnica, limitamo-nos, também, ao estritamente necessário. Com o progresso da ciência criam-se sempre novos têrmos, tornando-se imprescindível uma restrição — pelo menos no ensino — se não quisermos que êsses têrmos formem um pêso inútil para a leitura. Para facilitar a compreensão dêstes têrmos, achamos necessário incluir algumas notas etimológicas. A não ser assim, seria impossível não confundir palavras como "phylogenia", "phyllotaxia" e "Philodendron", que contêm três raízes diferentes de "filo", como se escreve na fonética.

O estudo da Botânica só poderá ser útil se fôr acompanhado de observações e demonstrações feitas no objeto vivo. Grande parte de nossos conhecimentos botânicos nasceu na Europa e na Europa foram feitas as ilustrações clássicas geralmente reproduzidas nos nossos livros. Não podemos manifestar melhor nosso respeito aos autores mestres, senão reproduzindo seus desenhos fundamentais. O leitor brasileiro deve, porém, desejar encontrar, ao redor de si, plantas que sirvam para demonstração e para experiências. Por isso tem sido nosso empenho, há anos, examinar a vegetação ao nosso alcance, para encontrar as plantas apropriadas. Todos aquêles que se dedicam ao ensino da Botânica sabem quanto é difícil essa tarefa. A maioria dos originais utilizados para ilustração dêste livro, foram feitos com êste fim. Na Europa o trabalho de mais de um século formou uma tradição neste sentido. Qualquer colaboração que pudesse aumentar as nossas experiências didáticas neste país seria, certamente, proveitosa e bem acolhida.

Esta publicação não teria sido possível, se não tivéssemos encontrado apoio e compreensão por parte do Govêrno de São Paulo, que nos proporcionou os meios para organizar uma biblioteca e instalar laboratórios modernos. Desejamos agradecer também aos nossos colaboradores: ao Sr. Joaquim Franco de Toledo que desenhou a maior parte das ilustrações originais, muitas vêzes depois de estudos preliminares

trabalhosos. A D. M. Inês da Rocha e Silva e ao Sr. Mário Guimarães Ferri que muito nos auxiliaram na composição do texto e na correção do estilo. Finalmente, ao Dr. Herman Kleerekoper por valiosas sugestões.

O quanto devemos à Companhia Melhoramentos de São Paulo pelo acabamento perfeito dêste livro, o leitor verá por si mesmo ao folhear as páginas que se seguem.

Prefácio para a 2.ª edição

A 2.ª edição dêste livro foi ampliada e foram adicionados dois capítulos novos, um sôbre os representantes mais importantes das famílias principais das nossas plantas superiores e outro sôbre a distribuição dos vegetais, apresentando abreviadamente os assuntos da Fitogeografia histórica e ecológica. As ilustrações novas devemos à pena hábil de D. Maria José Guimarães. Acreditamos ter completado o livro, de forma que contenha os assuntos mais importantes para a compreensão das linhas gerais da nossa ciência. Oferecendo o livro desta forma, dispensamos a 2.ª parte inicialmente planejada. Como sempre foi nosso desejo, salientamos só o mais essencial, baseando-nos na medida do possível em fatos observáveis neste país.

Repetimos, finalmente, os nossos melhores agradecimentos à Cia. Melhoramentos, que não poupou esforços para melhorar a apresentação dêste livro e com grande compreensão veio ao encontro dos desejos do Autor.

Novembro de 1950.

PRELIMINARES

Botânica (1) é a ciência que estuda as plantas. Os assuntos principais de que trata, são: a diversidade das espécies e formas que compõem o reino vegetal (sistemática), as leis que regem a vida e o funcionamento das plantas (fisiologia), a organização e estrutura dos elementos que compõem a planta (morfologia).

Não será preciso insistir sôbre a importância dessa disciplina. Homens e animais tiram seus alimentos de produtos vegetais; muitas matérias-primas de uso industrial como têxteis e madeiras, são de origem vegetal; grande é a importância das drogas fornecidas pela planta. Portanto, o estudo da botânica que já é necessário sob o ponto de vista prático, é além disso, de grande significado teórico ou filosófico. O que mais despertou, sempre, o interêsse dos grandes pensadores, foi a vida, essa mesma vida que estudamos no homem, nos animais e nas plantas. Todos os sêres vivos obedecem às mesmas leis fundamentais. Entretanto, não podemos definir no que consistem as características da vida. Sabemos, porém, que os critérios essenciais dos fenômenos vitais se manifestam de modo análogo ou muito semelhante em ambos os reinos. Tão grande é o parentesco entre a antropologia, a zoologia e a botânica que seu estudo pode ser abrangido sob o nome único de *biologia* (2).

Tôdas as ciências biológicas colaboram estreitamente para responder aos problemas básicos comuns.

Nessa colaboração imprescindível, cabe à botânica um papel especial: muitas reações vitais se dão no homem e no animal de modo bem complicado, ao passo que na planta se observam de maneira relativamente simples. Não foi por acaso que os nossos conhecimentos sôbre os fenômenos osmóticos — que hoje constituem uma das bases de tôda a fisiologia — tiveram por ponto de partida os estudos dos botânicos De Vries e Pfeffer, feitos com a célula vegetal. Também as leis da hereditariedade foram constatadas, em primeiro lugar, em plantas pelo botânico Mendel.

Todos êsses conhecimentos, hoje de alto valor prático, foram adquiridos sob um ponto de vista puramente teórico; muitas vêzes se ouve dizer que o fim principal de uma ciência deve ser orientado pela utilidade: bastaria que o botânico estudasse os problemas que se referem ao aproveitamento prático da vegetação. Contudo, nada pode haver

---

(1) A palavra *Botânica* provém do grego: *Botane* = planta forrageira, erva.
(2) *Biologia*, do grego: *Bios* = vida; *logos* = palavra, teoria.

de mais errado. Ensina-nos a história que os progressos práticos quase sempre derivam de conhecimentos de ciência pura. Foi o que sucedeu, por exemplo, com os físicos, que, ao estabelecerem as bases da óptica, da electrotécnica, etc., não pensaram nas conseqüências práticas de suas descobertas e nem sequer poderiam adivinhar o êxito futuro das mesmas.

Também os primeiros bacteriologistas eram botânicos, que se interessavam teòricamente pela existência dessas plantinhas primitivas que são as bactérias. Não sabiam, então, que importantíssimas disciplinas práticas, como a bacteriologia e a higiene, se iriam construir sôbre essa base teórica.

Logo, a distinção que muitas vêzes se faz entre *botânica pura* e *botânica aplicada* não é de importância intrínseca, nem lógica. Quando fôr empregada será em virtude de razões puramente práticas. Para uso de cadeiras e institutos destinados ao ensino ou estudo de ciência aplicada, pode, efetivamente, ter um bom fundamento. Nestes casos se ensinam assuntos práticos determinados que, entretanto, continuam sempre dependentes da botânica pura, que é uma ciência una e indivisível. Isso não exclui a possibilidade e mesmo a necessidade de estabelecer subdisciplinas. Estas, porém, estão tão estreitamente ligadas entre si, que não é possível, como veremos, estudá-las separadamente.

Subdisciplinas da botânica

A botânica, geralmente, é dividida em duas disciplinas principais: por um lado, a *sistemática* ou *botânica especial,* que trata das diferenças que distinguem as formas, espécies, gêneros, famílias, ordens e classes. Por outro lado, a *botânica geral,* que trata dos traços gerais, comuns a tôdas as plantas.

A divisão ulterior da *sistemática* se orienta de acôrdo com os grupos, classes, famílias, etc., que distinguimos. A botânica geral se subdivide em *morfologia* (1) e *fisiologia* (2). A *morfologia* trata da estrutura da planta e de tôdas as partes que a compõem. Considerando as partes, também chamadas órgãos, do ponto de vista de sua forma exterior, falamos de *organografia* (3).

A estrutura interna dêsses órgãos é objeto da *anatomia* (4) ou *histologia* (5). Os elementos que, por sua vez, formam os tecidos são as células; é a *citologia* (6) que trata da estrutura e das funções da célula.

A morfologia considera as coisas sob o aspecto estático, ao passo que a fisiologia o faz sob o dinâmico; trata dos processos vitais que se desenrolam no interior da planta. Nutrição, desenvolvimento, crescimento, movimentos e reprodução são os objetos de estudo da fisiologia.

---

(1) *Morphologia,* do grego: *morphe* = forma.
(2) *Physiologia,* do grego: *physis* = natureza (viva).
(3) *Organographia,* do grego: *organon* = órgão; *graphein* = escrever, descrever.
(4) *Anatomia,* do grego: *anatomein* = dissecar; na zoologia trata dos órgãos interiores, geralmente ausentes na planta; aqui anatomia e histologia tendem a confundir-se.
(5) *Histologia,* do grego: *histion* = tecido.
(6) *Cytologia,* do grego: *kystis* = vesícula, célula.

A fisiologia moderna não se limita a estudos de laboratório; vai para o campo, a fim de analisar o comportamento das plantas nas condições do seu habitat natural, tentando compreender a distribuição da vegetação espontânea. Esta disciplina se chama ecologia (1) vegetal; está ligada à fitogeografia, sendo ambas ensinadas, em geral, simultâneamente. Seus ensinamentos são de grande importância para compreensão da vegetação terrestre e marinha e para qualquer cultura vegetal, pois que as plantas cultivadas estão sujeitas às mesmas leis que as espontâneas.

A divisão aqui esboçada parece lógica. É geralmente adotada no ensino e nos tratados. Entretanto, é bom esclarecer que, na exposição da matéria, nunca se pode seguir estritamente essa ordem. Para compreender realmente a morfologia, é preciso conhecer a função dos órgãos, assim como o desenvolvimento dos mesmos; em outras palavras: devemos ter uma idéia da fisiologia dos órgãos em questão. Por outro lado, nunca poderemos estudar a fisiologia sem têrmos um conhecimento exato da estrutura dos órgãos. Também a sistemática só pode avaliar e julgar as diferenças entre as formas, se tiver compreendido a morfologia das mesmas. Além disso, é impossível fazer, atualmente, uma divisão sistemática sem um conhecimento perfeito das leis que regem a variabilidade e a hereditariedade.

As leis da variabilidade e da hereditariedade são idênticas em ambos os reinos. Hoje em dia formam uma disciplina à parte, a genética, tratada em livros especiais.

Não só as várias disciplinas da botânica formam um todo indiviso e entrelaçado, como também a botânica está intimamente ligada aos outros domínios das ciências naturais. Sob êsse ponto de vista são principalmente de grande importância a química, a física, a geologia, a zoologia, a geografia e a meteorologia. Essas ligações são representadas por várias disciplinas intermediárias. A *fitoquímica* (2) por exemplo, liga a química à fisiologia do metabolismo das plantas. A *fitogeografia* e a *paleobotânica* representam a ligação da botânica com a geografia e a paleontologia (3).

Como a compreensão de cada disciplina pressupõe o conhecimento de outras, a exposição não pode tratar das questões, umas após as outras sem que a cada passo se tenha que referir a assuntos abordados em outros capítulos. Por isso, uma primeira introdução à botânica não deve temer abandonar o sistema usual de exposição, se tiver a possibilidade de facilitar a compreensão ao leitor. Para isso é preciso não dar importância demasiada ao valor lógico da disposição acima esboçada. Aliás, êsse valor lógico é contestável. Por exemplo, a fisiologia das plantas se subdivide geralmente em duas partes. A primeira parte, o estudo do metabolismo (4) trata da troca de substâncias, isto é, da nutrição, respiração, ciclo da água, etc. A segunda parte ocupa-se com

---

(1) *Oecologia*, do grego: *oikos* = casa. A ecologia refere-se à manutenção das plantas, como a economia trata da manutenção doméstica.

(2) *Phytochimica*, do grego: *phyton* = vegetal.

(3) *Paleontologia*, do grego: *palaeon* = antigo; o tronco «*ont*» significa (exist)ente

(4) *Metabolismo*, do grego: *metaballein* = trocar, deslocar.

a mudança das formas, com o desenvolvimento individual da planta, com o crescimento e os movimentos. Os fenômenos de reprodução também deverão fazer parte dêste último capítulo. Esta segunda parte da fisiologia com o desenvolvimento atual, se aproxima cada vez mais da morfologia que, por sua vez, cada vez mais se entrelaça com questões fisiológicas. Foi o que também levamos em consideração na ordem que adotamos.

Aliás, as considerações fisiológicas infiltram-se, hoje em dia, em tôdas as disciplinas da botânica. Os objetos da morfologia e da anatomia só terão sentido para o pesquisador e para o aluno, quando considerados sob o ponto de vista das funções. As diferenças constatadas na sistemática só adquirem *vida* quando encaradas sob um aspecto fisiológico: interessa saber qual o significado das particularidades características para a vida das espécies e como puderam se desenvolver no decurso dos tempos. Assim a sistemática contemporânea é orientada ao mesmo tempo por considerações fisiológicas e filogenéticas (1) ou evolucionistas.

Se quisermos, em uma exposição resumida, facilitar ao leitor a compreensão do extenso domínio da botânica, devemos orientar-nos de acôrdo com o ponto de vista acima esclarecido. Depois de têrmos tratado num 1.º capítulo da *célula vegetal,* esboçamos na *segunda parte* as funções básicas da vida da planta, para esclarecer quais as principais peculiaridades da vida vegetal e quais os traços que distinguem as plantas dos animais, no seu modo de viver e em suas reações. Como, nesse caso, tudo depende da maneira de nutrição, esta parte corresponde ao capítulo que foi designado por *metabolismo* e que faz parte da fisiologia da planta.

Com isto, abre-se a compreensão para a *terceira parte,* a *organização da planta,* que estudamos no seu desenvolvimento progressivo, desde as formas mais simples até as mais diferenciadas.

A êste capítulo se ajusta a *quarta parte:* o desenvolvimento do organismo individual, a formação de seus órgãos e tecidos, seu crescimento, seus movimentos e reações. Êsses estudos ligam os capítulos tratados na fisiologia contemporânea como *fisiologia do desenvolvimento* ou mecânica do desenvolvimento, com outros que se ocupam com os movimentos da planta, designados, freqüentemente, como *fisiologia da excitabilidade.* Hoje não existe mais motivo para essa separação; organização, crescimento e movimentos de crescimento se subordinam às mesmas leis. Isto é válido também para a *reprodução vegetal.*

A êste assunto consagramos, porém, uma *quinta parte* isolada. Estudando a *reprodução,* compreendemos, ao mesmo tempo, as *divisões sistemáticas* principais. A organização dos órgãos reprodutores só pode ser compreensível, se subirmos, como de costume, progressivamente, dos grupos *filogenéticos* mais primitivos para os superiores. Como êsses

(1) *Phylogenese,* do grego: *phyle* = raça, *genesis* = criação, desenvolvimento.

grupos são distinguidos na *sistemática* justamente de acôrdo com o modo de sua reprodução, temos, dessa maneira, uma visão de conjunto dos grupos sistemáticos de maior importância no reino vegetal.

Como também o leigo em botânica deve ter uma noção das plantas mais importantes, descrevemos, num apanhado geral, algumas das famílias de plantas superiores mais dignas de menção entre nós.

Dedicamos a sexta parte dêste livro à fitogeografia. A distribuição das plantas sôbre terra e mar, as relações recíprocas entre vegetação e ambiente, constituem assuntos tão atraentes e importantes que o seu conhecimento faz parte integrante de nossa cultura geral.

Capítulo I

A CÉLULA VEGETAL — SEUS ELEMENTOS ESSENCIAIS E SUA ORGANIZAÇÃO

Tôdas as peculiaridades de uma planta se conformam às necessidades de seu modo de viver. Para compreendermos sua organização é preciso saber quais as tarefas a que o organismo se deve destinar.

As plantas superiores são sêres relativamente complicados; muitos traços de sua organização são adaptações à vida terrestre, que exigem medidas especiais de proteção contra os perigos de climas secos ou frios, ou excessos de calor. A luta contínua pela luz contribuiu por outro lado, para modificar e complicar os organismos. Para constatar as necessidades absolutamente elementares da vida vegetal, seria bom se pudéssemos fazer abstração de tôdas essas complicações acessórias e secundárias. Isto é possível com plantas aquáticas e de primitiva organização. Escolhemos portanto, como ponto de partida, uma alga de água doce. Tais algas podem ser obtidas com facilidade. Os flocos verdes que encontramos com freqüência, na superfície de águas estagnadas, são geralmente formados por diversas espécies do gênero *Spirogyra* (fig. 1), que pertence ao grupo das algas conjugadas (*Conjugatae*). Podem ser cultivadas em aquários, cuja água deve estar resguardada contra a ação do cloro e de metais (1).

Alguns fios dessa alga, mergulhados em água, deixam ver perfeitamente sob o microscópio a organização celular dos mesmos. Observamos fios compridos, cujo interior é subdividido em espaços mais ou menos regulares, por paredes transversais. Cada espaço limitado por dois dêstes diafragmas é uma célula. Tôdas essas células se parecem quanto à sua organização; em qualquer uma encontramos todos os elementos imprescindíveis à vida desta alga (fig. 1).

A primeira coisa que chama a nossa atenção nessas células, são fitas verdes, lobadas ou denteadas, que contornam o interior da célula em espirais com intervalos regulares. São os *cloroplastos,* corpúsculos clorofilianos (2), que contêm a *clorofila,* substância que desempenha papel tão importante na alimentação da planta.

---

(1) Para observar a alga em estado são, bem vivo, é aconselhável não tocá-la com instrumentos metálicos. Vestígios de metais na água têm um efeito tóxico, chamado *oligodinâmico* (do grego, *oligos* = pouco; *dynamis* = poder), efeito êsse que prejudica especialmente cogumelos, algas e protozoários. O uso da prata, empregada para a esterilização de vasos que contêm água, baseia-se também no *oligodinamismo* dêsse metal.

(2) *Chloroplasto* e *chlorophylla,* do grego: *chloros* = verde; *plasso* = formo; *phyllon* = = fôlha.

Ao passo que na maioria das plantas os corpúsculos clorofilianos são formações pequenas, simples e mais ou menos esféricas, as algas do grupo das *Conjugatae* se caracterizam por cloroplastos esquisitos e complicados. É à disposição espiralada dos cloroplastos, que o gênero *Spirogyra* deve seu nome.

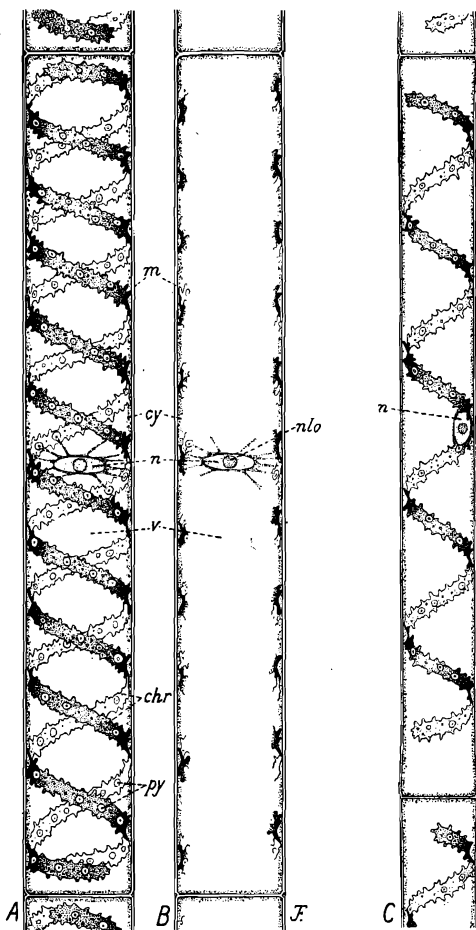



Fig. 1
Spirogyra: A e *B*, vista geral e corte óptico longitudinal de uma espécie com 2 espiras clorofilianas; *C*, vista geral de *S. Weberi*, espécie com uma espira; *m*, membrana; *cy*, citoplasma; *n*, núcleo; *nlo*, nucléolo; *v*, vacúolo; *chr*, cromatóforo em forma de fita clorofiliana; *py*, pirenóides. Orig.

O protoplasma. — Observando com maior aumento, constatamos que as fitas clorofilianas estão situadas no interior da célula. Por fora esta é fechada por uma membrana, a "membrana celular". Embora seja fina, esta membrana possui uma espessura mensurável, de maneira que, sob o microscópio, é possível distinguir o contôrno interior e exterior da mesma.

Focalizando-se bem, pode-se ver que as fitas espiraladas acompanham interiormente a membrana, junto ao contôrno interno da mesma. Estão mergulhadas numa camada fina de *protoplasma* (1), o qual, como uma mucilagem incolor, reveste interiormente a membrana. Só podemos distinguir o protoplasma pelo seu grande número de grânulos mais ou menos refringentes. A camada protoplásmica é extremamente fina. Mais para o interior a célula parece vazia. Entretanto, é vazia apenas òpticamente. Na realidade é ocupada por um líquido aquoso, o suco celular. Ao passo que os cloroplastos e o protoplasma são vivos, o suco celular é uma substância sem vida, uma solução aquosa de açúcares, sais, ácidos orgânicos, etc. Ocupa a maior parte do espaço celular. Por parecer vazia, denomina-se esta parte "vacúolo" (2).

---

(1) *Protoplasma*, do grego: *proton* = primeiro; *plasma* = formação; (quer dizer, a primeira substância viva).
(2) *Vacúolo* do latim: *vacuus* = vazio.

Ao passo que a parede celular, o plasma, os cloroplastos e o vacúolo são relativamente de fácil observação, às vêzes é mais difícil encontrar o *núcleo*. Êste, geralmente, está situado no centro do vacúolo, onde fica suspenso por fios do protoplasma que o envolve. Para torná-lo bem visível convém tratá-lo por um corante como a eosina (solução aquosa), tendo-se o cuidado de ajuntar-lhe alguns cristais de iôdo (o iôdo é empregado para matar a alga; na célula viva o corante não penetraria). Agora o núcleo se destaca, em rosa, do suco celular incolor e, no interior do núcleo distingue-se, por sua côr mais intensa, o nucléolo. De acôrdo com o que se sabe, o núcleo provàvelmente é o elemento mais importante da célula. Na genética aprende-se (vide também pág. 96) que os cromosomas — êsses corpúsculos coráveis nos quais vemos os portadores das qualidades hereditárias — fazem parte do núcleo. Também no funcionamento cotidiano da célula deve o núcleo exercer uma influência imprescindível, pois células ou fragmentos de células, que perderam o núcleo, não sobrevivem por muito tempo. Com exceção dos organismos mais primitivos, os *Schizophyta,* as células de todos os sêres vivos possuem um ou alguns núcleos. O núcleo faz parte do protoplasma. Como êste, compõe-se de substâncias protéicas, sendo, porém, especialmente rico em substâncias fosfóricas, os núcleoproteídes.

Núcleo, cromatóforos e plasma formam conjuntamente a substância viva da célula, que também é designada como protoplasma ou protoplasto. Para distingui-la do núcleo e dos cloroplastos, a parte do protoplasma que reveste a célula, como substância amorfa, líquida ou semilíquida, é denominada, hoje em dia, *citoplasma*. Por revestir, muitas vêzes, as células, sob a forma de um tubo, recebia antigamente o nome de tubo primordial. Consiste numa substância transparente e resistente, o *hialoplasma* (1), no qual estão imersos muitos grânulos pequenos e gotículas, provàvelmente vários produtos do metabolismo do plasma.

Estado de agregação do protoplasma. — Citoplasma, núcleo e cromatóforos encontram-se num estado que não se pode chamar líquido nem sólido. Pode ser comparado ao de uma cola ou goma, que pode conter uma quantidade variável de água. Contendo muita água, é perfeitamente líquido; ao diminuir a água, torna-se cada vez mais resistente ou viscoso. Finalmente, pode adquirir consistência gelatinosa e em estado mais sêco assume tôdas as qualidades de um corpo sólido. A físico-química denomina tais soluções como soluções coloidais.

Distinguimos duas formas de soluções: cristalóides e coloidais. Soluções cristalóides são "soluções moleculares", como a maioria das soluções de sais ou açúcares solúveis na água. As substâncias cristalóides decompõem-se, no interior da água, nos seus menores componentes, as moléculas. Às vêzes, estas se desagregam ainda em seus íons. As substâncias coloidais, pelo contrário, decompõem-se, nas soluções, em partículas maiores, agregados de muitas moléculas, que formam uma suspensão no solvente (meio de dispersão). Essas partículas são, entretanto, tão pequenas, que não são visíveis, nem sob o microscópio mais poderoso; òpticamente só são demons-

(1) *Hyaloplasma,* do grego: *hyalos* = transparente.

tráveis com o chamado ultra-microscópio e, mesmo assim, em condições limitadas. A físico-química das substâncias coloidais é extremamente complicada, sendo ensinada, hoje em dia, como ramo científico especial, a química coloidal (1). A maioria das reações que regulam os fenômenos vitais obedecem às leis da química coloidal. As substâncias protoplásmicas são soluções coloidais de substâncias albuminóides, em água. Resta saber se as combinações albuminóides não estariam, neste caso, no estado de dispersão molecular. As albuminas "vivas" são de natureza tão complexa que a molécula de albumina certamente é muito grande. Convém, porém, notar que, as mesmas leis que regulam o mecanismo de soluções coloidais, constituídas por agregados de moléculas menores, também são válidas para as soluções molecular-dispersas, compostas por moléculas extremamente grandes.

Em certos estados de repouso, no tecido das sementes, por exemplo, o citoplasma às vêzes é tão pobre em água que possui consistência sólida (córnea). Em células ativas, como na nossa *Spirogyra,* o citoplasma é um líquido muito fluído.

Também o *núcleo* é de natureza coloidal. No estado de repouso, quer dizer, quando não há divisão ou cariocinese (vide pág. 96) quase nada se percebe dos cromosomas. Sòmente o nucléolo ou alguns nucléolos, de consistência mais densa, se destacam do líquido que ocupa a cavidade nuclear.

Os *cloroplastos* são também de natureza mais sólida, mais compacta, do que o citoplasma. Sua forma bem determinada, com o aspecto de uma fita na *Spirogyra,* nos dá a idéia de se tratar de corpúsculos sólidos; entretanto, observando-se mais cuidadosamente, verifica-se que estão sujeitos a modificações. As saliências que observamos na fig. 1 se distendem e se retraem freqüentemente. Como também nos mostram as observações feitas em corpúsculos clorofilianos de outras plantas, êstes possuem uma certa plasticidade, indicando um estado de líquido resistente, coloidal.

Motilidade do protoplasma. — Como parece, tôdas as estruturas plasmáticas possuem motilidade própria. Se observarmos, durante algum tempo, os filamentos plasmáticos que ligam, na célula da *Spirogyra,* o núcleo ao plasma envolvente, veremos que os grânulos do plasma sofrem certo deslocamento. O citoplasma circula. Êsse movimento do plasma é mais ou menos peculiar a tôdas as células vivas.

Para observar os movimentos plasmáticos podemos utilizar material mais favorável. Tomamos, por exemplo, os pêlos dos estames das flores de diversas *Tradescantias.* Como podemos dispor sempre dessas flores, não é difícil observar êsse movimento. Abrimos uma flor de *Tradescantia,* talvez de uma dessas *Trapoerabas* (*T. zebrina*) que se cultivam, freqüentemente, nos jardins brasileiros. Colocamos um estame numa gôta de água, sob o microscópio. Os pêlos que revestem os estames apresentam células como as representadas na fig. 2.

A estrutura destas células é muito semelhante à da *Spirogyra.* Reconhecemos a camada citoplasmática, o grande vacúolo, atravessado pelos filamentos do plasma que, também neste caso, mantém o núcleo em suspensão. Em vez dos corpúsculos de clorofila, encontramos outros, muito

---

(1) A boa introdução de Liesegang foi traduzida por H. Rheinboldt: *Cartilha dos Colloides,* São Paulo 1937.

menores e incolores, que não assimilam, denominados *leucoplastos* (v. pág. 23). O que mais nos interessa nessas células, é o movimento muito intenso do citoplasma. Vemos, pelo deslocamento dos grânulos, como corre ao longo da parede e circula nos fios. Freqüentemente, os *microsômios* (1) de um mesmo fio correm, de um lado, em sentido inverso ao do outro.

É de grande importância tomar conhecimento dessa motilidade do protoplasma, visto ser um característico de todo e qualquer plasma vivo; existe, como acabamos de ver, na célula vegetal, sem motilidade aparente. Em essência é a mesma motilidade que observamos na célula animal, podendo esta ser estudada principalmente nas amebas.

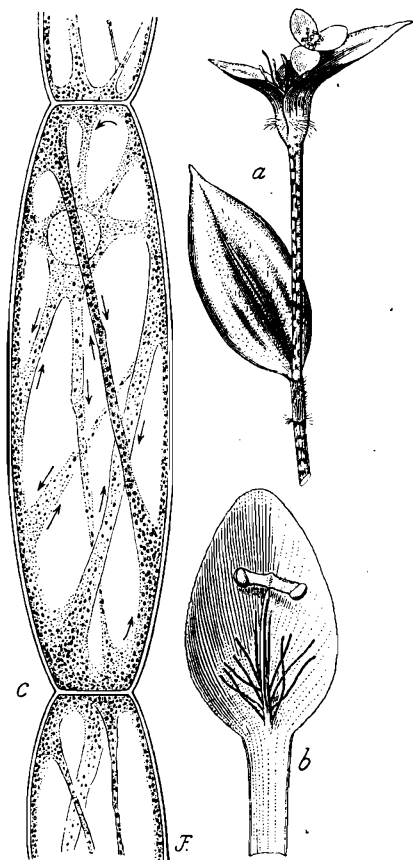



Fig. 2
Tradescantia zebrina (Tapoeraba): *a*, vista geral; *b*, pétala com estame na base; vêem-se os pêlos estaminais; *c*, células dêstes pêlos; com as setas se indicam as correntes citoplásmicas. Orig.

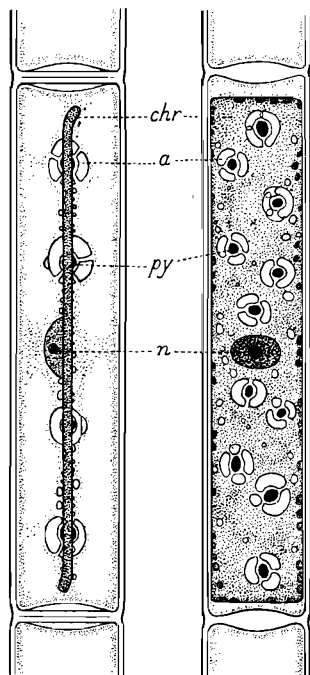



Fig. 3
Mougeotia scalaris: à esquerda, célula com a placa clorofiliana em perfil; à direita a placa está estendida no plano horizontal; *chr*, cromatóforo; *a*, amido; *py*, pirenóide; *n*, núcleo. Seg. Palla, ap. Oltmanns.

Quais as causas mecânicas, qual a mola responsável pelo impulso dêsse movimento, são coisas que até hoje ainda não puderam ser explicadas.

(1) *Microsômios* é outra designação para grânulos citoplasmáticos; provém do grego: *mikro* = pequeno; *soma* = corpo.

Os *núcleos* também mudam freqüentemente de forma, deslocando-se no interior das células. Às vêzes formam saliências que são comparadas aos pseudopódios das amebas. Fala-se, neste caso, de movimento amebóide do núcleo.

Os *cloroplastos* podem, da mesma forma, executar movimentos no interior da célula. É difícil, porém, distinguir se se trata de um movimento próprio ou de um movimento causado pelo citoplasma que sempre os envolve.

Um ótimo exemplo dêsse movimento dos cloroplastos nos fornece uma outra alga filamentosa do grupo das *Conjugatae,* parente próxima da *Spirogyra,* a *Mougeotia.* Estas algas também podem ser obtidas com facilidade, por se encontrarem freqüentemente em tanques e aquários. Seus cloroplastos formam uma placa retangular, suspensa no meio da célula. Nos fios de *Mougeotia* a placa clorofiliana geralmente está orientada de modo a ficar num plano perpendicular à direção da luz. Dêsse modo a clorofila recebe o máximo de luz.

Se fizermos preparações dos fios, da maneira indicada para a *Spirogyra,* teremos sôbre a lâmina fios desordenados. Em algumas células vemos as placas estendidas horizontalmente; em outras estão de perfil. Como, porém, nas observações microscópicas a luz vem de baixo, as placas clorofilianas que estão de perfil, em poucos minutos mudam de posição, viram-se até ficarem em direção perpendicular ao feixe de luz (fig. 3).

Revisão dos principais elementos vivos da célula vegetal. — Nos exemplos dados acima, ficamos conhecendo os *principais elementos da célula vegetal.* Os componentes essenciais que não podem faltar em qualquer célula viva (com exceção das *Schizophyta,* já mencionadas que ainda não possuem núcleos distintos), são: o *núcleo* e o *citoplasma.* Não poucas células vegetais e animais são formadas exclusivamente por êstes dois componentes. Os *cloroplastos* são uma formação principalmente vegetal, contêm a clorofila, substância de grande importância, com o auxílio da qual se faz a fotossíntese, que estudaremos no segundo capítulo. A clorofila se encontra em tôdas as células verdes que elaboram substâncias orgânicas, partindo de carbônio e água, aproveitando-se para isso da luz solar. Aprenderemos, mais adiante, que o primeiro produto visível da fotossíntese é o *amido.* Êste forma-se no interior dos cloroplastos e se já o fazemos notar aqui é porque pode ser observado na fita clorofiliana da *Spirogyra* e na placa de clorofila da *Mougeotia.* Nelas observamos pequenas formações esféricas pouco distantes umas das outras, compostas de um corpo central envolvido por uma outra substância. Esta é o amido. Se ajuntarmos ao preparado uma solução de iôdo, o amido ficará corado em violeta, sua reação característica. O corpo central é denominado *pirenóide* (1). Os pirenóides só aparecem em plantas inferiores, especialmente nas algas; parecem ser o centro de formação do amido.

Nas plantas superiores não se podem observar pirenóides nos corpúsculos clorofilianos; nessas plantas o amido se deposita em pontos indiferentes no interior dos cloroplastos (fig. 4). Ao que parece, os cor-

---

(1) *Pyrenoide,* do grego: *pyren* = núcleo; *eidos* = forma; que tem semelhança com núcleo.

púsculos clorofilianos só se multiplicam dividindo-se por estrangulamento. Geralmente, formam clorofila na luz; ficando sempre no escuro permanecem incolores, sendo então denominados *leucoplastos* (1). Podem conter ainda outras substâncias corantes, além da clorofila, como, por ex., pigmentos vermelhos e pardos observados em certos grupos de algas (pág. 37); é freqüente observar-se, também, um pigmento alaranjado, a carotina, que é responsável pela côr da cenoura ou da flor das chagas ou capuchinho (*Tropaeolum*). A botânica denomina êstes últimos corpúsculos *cromoplastos* (2) distinguindo-os dos *leucoplastos* e *cloroplastos*. Tôdas as três categorias são abrangidas sob o nome comum de

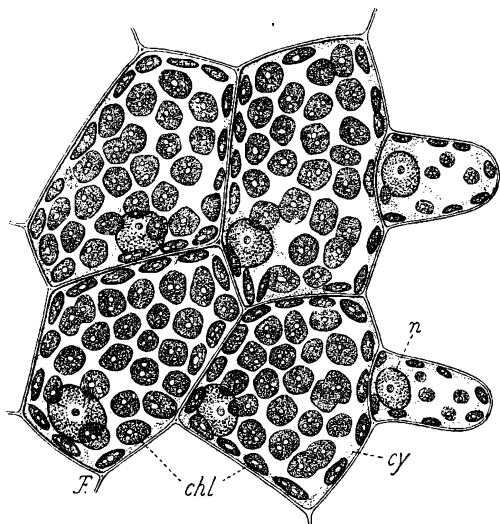



Fig. 4
Células verdes do protalo de *Polypodium Catharinae*: *chl*, Cloroplastos com grãos de amido difusos no seu interior; *cy*, citoplasma; *n*, núcleo. Orig.

cromatóforos (3). Estas três espécies de cromatóforos podem se transformar uma na outra, por perda ou nova formação de substâncias corantes.

Além das formações do plasma que já foram citadas, encontramos ainda *outros elementos* que aí se acham mais ou menos normalmente. São freqüentes as gotículas de gordura, as essências (óleos essenciais), resinas, albumina em forma amorfa ou cristalizada, cristais de substâncias inorgânicas, principalmente o oxalato de cálcio $Ca(CO_2)_2$, corpúsculos de sílica, etc.

De significado problemático são os chamados *condriosomas*, que se encontram e podem ser demonstrados com determinados corantes em tôdas as células, especialmente nas animais. Têm a forma de grânulos, bastonetes, fusos ou halteres. É possível que sejam elementos

(1) *Leucoplastos*, do grego: *leuko* = branco; *plassein* = formar; *plastos* = formado, formação.
(2) *Chromoplastos*, do grego: *chromo* = côr.
(3) *Chromatophoros*, do grego: *phoros* = portador.

muito heterogêneos, entre os quais talvez se encontrem, na célula vegetal, formas jovens de cromatóforos.

Papel do vacúolo e da membrana celular. — Além dos cromatóforos, que tornam possível a nutrição específica da planta, a célula vegetal se distingue da animal pela membrana celular e pelo grande vacúolo, que se encontram em quase tôdas as células vegetais adultas e ativas. Êstes dois elementos da célula vegetal, embora sem vida própria, desempenham um papel especial sôbre o qual convém, desde já, chamar a atenção, embora só mais tarde possamos estudá-los mais detalhadamente.

A membrana celular se compõe, na maioria dos casos, de *celulose,* que é um hidrato de carbônio da fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, na qual podem ainda existir incrustações de outras substâncias, como lignina (1), suberina, cutina, etc. A razão pela qual encontramos na membrana da célula vegetal — capaz de formar combinações orgânicas tão numerosas — de preferência celulose (2), explica-se por várias propriedades desta: primeiramente a celulose é uma substância de extrema resistência química, que se decompõe com dificuldade. Há poucas bactérias, infusórios e cogumelos, capazes de digeri-la (se há certos mamíferos, como os ruminantes, que se alimentam com substâncias celulósicas, como feno, etc., é porque sua digestão se faz com auxílio da flora e fauna intestinais, na qual se encontram bactérias e infusórios que decompõem a celulose).

Mais importante é, porém, uma propriedade mecânica da celulose: sua capacidade de suportar grande tensão e tração. A celulose faz parte dos materiais mais resistentes que conhecemos: linho, cânhamo e tôdas as fibras vegetais têxteis se compõem de celulose. A fôrça da fibra de linho pode ser comparada à de um fio de aço. Comparando-se fios de diâmetro igual, o fio de aço é bem mais resistente, mas o ferro é cêrca de 5 vêzes mais pesado do que a celulose. Se forem comparados fios de diâmetro desigual mas do mesmo pêso, a celulose equivale ao aço em resistência. Esta resistência à tensão é de grande valor para a vida da célula vegetal, pois sua membrana é sujeita a pressões muito elevadas que atingem muitas atmosferas (3).

A pressão que existe no interior de uma célula vegetal é causada pelas propriedades osmóticas do vacúolo. O suco celular é uma solução mais ou menos concentrada, de sais, açúcares, etc. A parede que envolve a célula está embebida também de água ou de uma solução aquosa. Mas, êste líquido possui, geralmente, uma concentração bem mais fraca do que o suco celular. Soluções de concentração diferente que entram em contato, têm a tendência de equilibrar suas concentrações. Isso geralmente se dá pela difusão das moléculas contidas nas soluções. Na célula viva a difusão das substâncias do suco celular é impedida pela

---

(1) *Lignina,* do latim: *lignum* = lenho. A lignina que incrusta as células do lenho, não existe nas fibras celulósicas do linho (Linum).

(2) Nos animais, a celulose só se encontra em casos excepcionais e duvidosos (Tunicata).

(3) Entende-se por pressão de uma atmosfera, a pressão que o pêso da atmosfera exerce sôbre a superfície da terra. Ao nível do mar, é igual à provocada pelo pêso de uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura. Sôbre uma superfície de 1 cm^2, a atmosfera exerce uma pressão de cêrca de 1 kg.

membrana citoplasmática que separa o suco celular da solução aquosa da parede. O citoplasma é permeável à água, mas não o é às moléculas de sais e açúcares. É permeável só ao solvente, mas não às substâncias dissolvidas; é, como dizemos, *semipermeável* (1).

Na célula vegetal viva (só o plasma vivo é semipermeável; o morto geralmente deixa passar as substâncias dissolvidas) as diferenças de concentração só podem promover um movimento unilateral: a água do meio exterior pode penetrar no vacúolo, ao passo que as substâncias nêle dissolvidas não podem sair. Como veremos mais tarde, a difusão é um fenômeno físico que se opera com grande energia. As substâncias contidas no vacúolo atraem, com grande fôrça, a água do meio exterior; o vacúolo enche-se, intumesce e distende a membrana. Destarte a parede sofre uma tensão que, às vêzes, atinge um valor de muitas atmosferas. Pela sua elasticidade exerce, por sua vez, uma pressão contrária sôbre o interior da célula. Podemos comparar o sistema com um balão bem cheio de gás, cuja parede de borracha é distendida pela quantidade de gás insuflada. Também esta parede exerce uma pressão contrária sôbre o interior do balão. Porém, na célula vegetal, as pressões são incomparàvelmente mais altas.

Pelas ações contrárias do vacúolo e da parede é provocado um estado de tensão da célula, estado êsse que se denomina *turgescência.* Ferindo-se e abrindo-se uma célula turgescente, o suco celular é expelido com grande violência. A solidez e a rigidez dos tecidos vegetais explicam-se, em grande parte, pela turgescência das células. Suprimida essa turgescência, quer pela perda de água, ao murchar, quer por destruição da semipermeabilidade do plasma, pela morte (fervendo-se a planta), os tecidos afrouxam.

Das condições aqui esboçadas dependem especialmente a absorção e a condução da água no interior da planta. Trataremos detalhadamente dos fenômenos osmóticos no capítulo que se refere ao aproveitamento da água (vide pág. 46). Contudo não compreenderiamos nem a estrutura nem a função da célula vegetal, se já não tivéssemos indicado aqui o papel importante da tensão osmótica das paredes celulares, provocada pela pressão do vacúolo. Trata-se aqui de peculiaridades da célula vegetal que faltam geralmente no reino animal.

Os fenômenos de turgescência podem ser observados também nas células da *Spirogyra.* A semipermeabilidade do protoplasma já é demonstrada pela experiência da eosina, mencionada na pág. 19. Aplicada sem acréscimo de iôdo, a eosina não pode penetrar, pois a membrana plasmática não a deixa passar. Sòmente depois de têrmos ajuntado uma substância tóxica, como o iôdo, a membrana se torna permeável. Se medirmos as células antes e depois da morte, poderemos constatar que a célula morta perdeu sensìvelmente nas suas dimensões. Suprimida a pressão do vacúolo, a membrana celular se contrai. Mais ilustrativa é a experiência da plasmólise que será explicada na pág. 49 e que, da mesma forma, pode ser feita com a *Spirogyra.*

---

(1) Na verdade, deve existir a possibilidade de entrarem os sais no vacúolo. Isso se dá muito vagarosamente, como vamos discutir na pág. 71.

Capítulo II

METABOLISMO DA PLANTA

1. GENERALIDADES

A manutenção da vida nas plantas inferiores dá-se, em princípio, da mesma forma que nas superiores; alimentam-se como estas, absorvem substâncias do exterior, incorporam-nas ou assimilam-nas (1), respiram e finalmente têm que desprender uma série de substâncias que são "desassimiladas". Trata-se, pois, de uma troca incessante de substâncias químicas, troca essa que se chama *metabolismo*. Opera-se, dêsse modo, uma perpétua composição e decomposição de substância viva, havendo, simultâneamente um jôgo de energias, solicitadas do ambiente para o interior da célula e devolvidas desta novamente para o ambiente, porquanto todos os processos vitais implicam trabalho.

A troca de energias desempenha um papel pelo menos tão importante quanto o da troca de substâncias.

Êsses fenômenos são necessários para que a vida possa ser mantida. Além disso, todos os organismos têm a tendência de aumentar e multiplicar-se; têm que crescer, isto é, aumentar a própria substância e devem se reproduzir, isto é, aumentar o número de indivíduos existentes. Antes de explicarmos os fenômenos de crescimento e de reprodução, será preciso conhecer as funções imprescindíveis à simples manutenção da vida.

Para que um organismo possa viver, devem ser preenchidas certas condições; primeiro, deve estar entre determinados limites de *temperatura,* que permitam a vida. Elevação de temperatura, acima de cêrca de 55° C, geralmente é mortal — com exceção de certos organismos inferiores, como as termobactérias (2) —, pois a essa temperatura, as proteínas plasmáticas coagulam. Isso é válido para as células que se encontram no estado de vida ativa. No estado de repouso o protoplasma pode ser mais resistente. Esporos de certas bactérias e de alguns cogumelos suportam, por algum tempo, no estado de repouso, temperaturas superiores a 100° C. Temperaturas abaixo de 0° C fazem igualmente parar a vida, mas a congelação do plasma nem sempre é mortal. Muitos organismos sobrevivem às temperaturas mais baixas que a técnica produz e que se aproximam do zero absoluto. Acham-se num estado de

(1) *Assimilar,* do latim: *similis* = semelhante, i. é, assemelhar-se.
(2) O *Bacterium calfactor* suporta até 70° C.

vida latente, no qual tôdas as funções vitais repousam, e podem voltar à vida ativa se forem adequadamente aquecidos.

É preciso ainda que estejam ao alcance da célula viva tôdas as *substâncias* necessárias para a sua manutenção. Em primeiro lugar está a água. Todos os processos vitais, também os que se desenrolam nas plantas e animais terrestres, dependem da existência de água; o próprio protoplasma é uma solução coloidal de substâncias protéicas em água. Devemos supor que os primeiros sêres vivos se originaram na água. Ainda hoje se encontram na água as formas mais primitivas. Para tais formas, como a *Spirogyra*, o aproveitamento da água não é um problema; tomam-na do ambiente por difusão ou osmose.

Entre outras substâncias imprescindíveis podemos citar primeiramente as que compõem a substância viva da célula, o protoplasma. As substâncias protéicas contêm carbônio (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H) e oxigênio (O); contêm ainda outros elementos, como: enxôfre (S), fósforo (P), que já conhecemos como componente dos núcleo-proteídes; o magnésio (Mg) é um componente da molécula de clorofila. Indispensáveis são, também, o potássio (K), o cálcio (Ca) e o ferro (Fe), a respeito dos quais não sabemos ao certo se entram na composição das moléculas da própria substância viva; parece que desempenham papel importante nas reações coloidais dentro da célula. O mesmo é válido para alguns outros elementos, que sabemos, por pesquisas recentes, serem necessários em traços mínimos: boro, manganês, etc.

Um papel especial cabe ao oxigênio, imprescindível para a respiração, que trataremos na 3.ª parte dêste capítulo (pág. 39). Na ausência absoluta dêste elemento, tôda a vida ativa cessa.

Tôdas essas substâncias devem entrar na célula de fora para dentro. O modo de sua absorção, assimilação, desassimilação e eventual excreção formam o objeto da teoria do metabolismo das plantas.

2. FOTOSSÍNTESE (1) OU ASSIMILAÇÃO DO CO_2

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674\ \textit{Calorias} = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

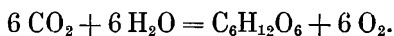
O processo mais importante na natureza viva — processo êsse de significado decisivo para a existência da vida orgânica no nosso planêta — é a assimilação do carbônio. É uma reação que se opera sòmente nas células vivas das plantas; a química moderna, tão desenvolvida, até hoje não conseguiu imitá-la. Sem ela não haveria vida possível, por duas razões: primeiro, porque o carbônio fixado pela planta forma a base de todos os compostos orgânicos que a compõem, sejam êles substâncias vivas como as proteínas do protoplasma, sejam matérias como celulose, lignina, gorduras, etc. Os animais formam as suas próprias substâncias orgânicas, específicas para cada espécie, mas não poderiam construí-las senão partindo direta ou indiretamente de plantas ou de substâncias por elas preparadas.

---

(1) *Photosynthese*, do grego: *phos* = luz, *synthese* = composição: composição pela luz.

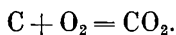
Em segundo lugar, por meio da assimilação do carbônio se armazena energia (em geral energia solar) que, na respiração é novamente libertada. É dêsse modo que as plantas se aproveitam da energia necessária para os processos vitais. Homens e animais também conseguem a energia de que necessitam, por respiração, isto é, combustão das substâncias orgânicas assimiladas pelas plantas. *Portanto, as substâncias orgânicas produzidas pela planta, servem, ora para a formação da substância de todos os organismos (metabolismo construtivo), ora para fornecimento das quantidades de energia necessária para o decurso da vida (metabolismo energético).*

O processo de assimilação de carbônio opera-se nas células das plantas verdes por meio da fotossíntese. A reação consiste na transformação do ácido carbônico (H_2CO_3) num açúcar ($C_6H_{12}O_6$). Neste processo desprende-se oxigênio. Contendo a molécula dos açúcares simples da fórmula dada (monossacarídeos, hexoses) 6 átomos de carbônio, devem ser consumidas 6 moléculas de ácido carbônico para formar-se uma molécula de açúcar. No vegetal terrestre não é ácido carbônico mas sim CO_2 que entra para o interior da planta unindo-se aí com a água:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

Consideremos os pormenores desta equação química: 6 moléculas de dióxido de carbônio ligam-se com 6 de água, para formar uma de açúcar, desprendendo-se 6 moléculas de oxigênio.

Primeiramente, interessa-nos saber de onde recebe a planta o dióxido de carbônio necessário. O ar atmosférico sempre contém êsse gás, aliás em quantidades muito baixas, cêrca de 0,03 %. É preciso distinguir o gás carbônico ou anidrido carbônico CO_2, do ácido carbônico. Êste tem a fórmula $H_2\,CO_3$, formando-se por ligação de uma molécula de água (H_2O) com uma molécula de CO_2. É o que sempre acontece quando há dissolução de CO_2 na água. Opera-se também na absorção do gás CO_2, pela planta, que sempre está embebida de água. Poderíamos, assim, escrever no primeiro membro da equação, em vez de $6\,CO_2 + 6\,H_2O$, simplesmente $6\,H_2CO_3$.

O CO_2 do ar provém e forma-se sempre novamente pela combustão de carbônio (C), que é o componente quase único do carvão e o mais importante elemento de tôdas as combinações orgânicas. Em cada combustão completa, 1 parte de carbônio se liga com 2 de oxigênio, formando o dióxido de carbônio:

$$C + O_2 = CO_2.$$

Êste processo se produz nos fogões e nos grandes fornos industriais. Em muito maior escala se opera contìnuamente, sob a forma de *combustão lenta,* nos corpos de todos os sêres vivos, pois a respiração nada mais é do que uma combustão, de acôrdo com a equação que acabamos de dar. É verdade que a equação deve ser escrita de um modo um pouco diferente, como veremos na pág. 39.

Transformações químicas em que o oxigênio entra nas moléculas chamam-se *oxidações*. Oxidações geralmente fazem parte das chamadas reações *exotérmicas,* nas quais há desprendimento de calor. A combustão do carbônio da lenha, ou do carvão, aquece os nossos fogões e as fornalhas onde se produz calor para as máquinas a vapor, etc. É êste calor que pode ser transformado em trabalho. Da mesma forma, a combustão lenta aquece o corpo humano, por meio da respiração, fornecendo-lhe as energias necessárias para todos os trabalhos da vida.

O processo químico inverso, no qual as combinações oxidadas são libertadas do seu oxigênio, chama-se redução. Uma reação química, na qual o CO_2 é decomposto em C e O_2, é uma reação de redução; dizemos que o dióxido de carbônio é reduzido. Esta reação de redução absorve uma quantidade definida de energia; é, como dizemos, uma reação *endotérmica.* A quantidade de energia necessária para uma redução, é idêntica à que foi libertada no processo inverso, na oxidação. Se, na combustão ou oxidação de certa quantidade de carbônio, é libertada uma determinada quantidade de energia, a mesma quantidade de energia deve ser novamente absorvida, se quisermos obter a quantidade inicial de carbônio por redução de dióxido de carbônio. Uma substância reduzida, como o carbônio, possui, portanto, certa quantidade de energia química em forma "potencial". Esta energia pode sempre ser transformada em calor ou trabalho, quando combinarmos o carbônio novamente ao oxigênio, queimando-o.

A assimilação do ácido carbônico na célula vegetal verde é portanto, uma reação de redução, na qual é absorvida, ou melhor, armazenada, uma quantidade de energia. Nesse processo, o dióxido de carbônio se reduz; forma-se oxigênio livre (O_2) e carbônio (C), que, na verdade, não aparece em forma de carbônio puro, mas se transforma em açúcar, combinando-se com água (1). A energia consumida nessa redução, — isto é, a armazenada no açúcar, como energia potencial, — é calculada em cêrca de 674 grandes calorias (2).

A fonte de energia que fornece estas calorias é a luz solar. A energia representada pelos raios luminosos pode, como sabemos, fornecer trabalho em diversíssimas formas. Reações químicas que se dão com auxílio da energia luminosa são chamadas reações fotoquímicas, que conhecemos no exemplo da fotografia. A assimilação do carbônio também é um processo fotoquímico que se dá com auxílio da clorofila (3). Esta absorve certos raios de luz solar, retira sua energia e, por meio da mesma energia leva a efeito a reação endotérmica da assimilação. A energia química potencial que se encontra na molécula do açúcar, é a mesma que foi tirada pela clorofila dos raios solares, por absorção. Assim, uma parte da energia solar desaparece durante a assimilação, para reaparecer sob outra forma, em forma química, potencial, no açúcar. Podemos também dizer: *na fotossíntese, a energia luminosa se armazena em forma de energia química potencial.*

---

(1) Vide detalhes à pág. 34.

(2) Grande caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 kg de água de 1° C (exatamente de 14 1/2-15 1/2° C.).

(3) Outros processos químicos de assimilação do carbônio, v. pág. 45.

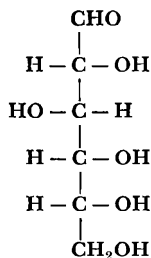
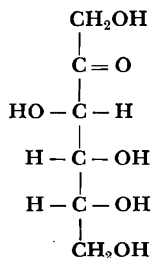
A energia solar só é aproveitável em certas horas e épocas do ano. A energia química armazenada nos açúcares e outras combinações orgânicas está sempre ao alcance da planta e do animal que se alimenta com os produtos da fotossíntese vegetal; pode sempre ser empregada para qualquer processo vital.

Se fôr indicado um número de calorias referente a uma reação exo ou endotérmica, êste número diz respeito à quantidade de substâncias transformadas, representada pelo pêso molecular em gramas, isto é, à molécula-grama. O pêso molecular de um açúcar simples, como o indica a equação de assimilação é de 180. Para formação de 180 g de açúcar são consumidas 674 calorias e na combustão da mesma quantidade de açúcar, uma quantidade idêntica de calor é novamente libertada. É uma quantidade de calor suficiente, mais ou menos, para aquecer 6,74 litros de água de 0° a 100°.

O mais importante na fotossíntese é, pois, a aquisição de energia ou o armazenamento da mesma. Desde muito tempo botânicos e químicos têm-se empenhado em esclarecer os processos implicados nesse fenômeno, sem que, entretanto, tenham conseguido resultados satisfatórios.

A prova de que a clorofila é necessária para a fotossíntese, consiste no fato de que só em plantas e órgãos verdes há fotossíntese. (Quanto à colaboração de outros pigmentos, como ficociana, ficofeína e ficoeritrina, em certos grupos de algas, vide pág. 37). O amido, primeiro produto visível da assimilação, é formado no interior dos cloroplastos. Provàvelmente, o amido não é o produto de assimilação, realmente inicial. Como já mencionamos, originar-se-ia primeiramente um açúcar do grupo dos monossacarídeos (hexoses).

Os açúcares, como se sabe, fazem parte dos chamados hidratos de carbônio ou carboidratos. Êste nome se explica, porque foram imaginados como sendo compostos de certo número de átomos de carbônio, em ligação com outras tantas moléculas de água. Assim, resultaria da união de 6 moléculas de carbônio, com 6 de água, uma molécula de $C_6H_{12}O_6$ que é um monossacarídeo. Na verdade, não se trata simplesmente de uma união de água com carbônio. A fórmula de constituição das hexoses é complicada; existem várias hexoses de propriedades diferentes e que, como isômeros, só diferem no agrupamento dos elementos que compõem a molécula, como mostram os dois exemplos da d-glicose e da d-frutose (representadas nas suas fórmulas clássicas).

d-glicose (*Aldose*)	*d-frutose* (*Cetose*)
CHO	CH_2OH
H — C — OH	C = O
HO — C — H	HO — C — H
H — C — OH	H — C — OH
H — C — OH	H — C — OH
CH_2OH	CH_2OH

Todos os açúcares que possuem só 6 átomos de carbônio, chamam-se monossacarídeos ou hexoses. A êstes pertencem a glicose e a frutose, substâncias freqüentes na célula vegetal. Ligando-se duas moléculas de um *monossacarideo*, formam-se novas combinações, os *dissacarídeos*, aos quais pertence o açúcar de cana, que, quanto à sua estrutura química, é idêntico ao produto da beterraba. A fórmula química dêstes dissacarídeos não é $C_{12}H_{24}O_{12}$, como se poderia imaginar, mas $C_{12}H_{22}O_{11}$. Na união das duas moléculas de hexose é eliminada uma molécula de água. Unindo-se mais do que duas moléculas de hexose, formam-se os *polissacarídeos*, novamente com eliminação de água. O amido é um polissacarídeo, cuja fórmula é $(C_6H_{10}O_5)_n$. Desta vez, de cada molécula de hexose inicial é eliminada uma molécula de água. Qual o tamanho da molécula de amido, isto é, de quantas moléculas de hexose se constrói, é o que ignoramos. Por isso, é colocado na fórmula o índice *n* que exprime um número desconhecido. Também a *celulose* é um polissacarídeo, cuja fórmula se escreve da mesma maneira. O tamanho da molécula, neste caso, é também desconhecido, constituindo objeto de pesquisas intensivas. Ao passo que os mono e dissacarídeos são fàcilmente solúveis na água, os polissacarídeos dissolvem-se dificilmente. Como os corpos sólidos não podem sair da célula por difusão, é vantajoso para a planta transformar os carboidratos que devem ser armazenados em substâncias menos solúveis. Assim pode ser interpretada a formação tão freqüente de amido no interior dos corpúsculos clorofilianos. No entanto, conhecemos muitos casos em que se formam quase só mono e dissacarídeos, como na cana-de-açúcar.

Para *demonstração macroscópica* da formação do amido nas fôlhas, pode-se utilizar a *prova do iôdo*. Matamos as fôlhas na água fervente; tratamo-las, depois, com álcool aquecido, até que tôda a clorofila fique dissolvida no álcool. As fôlhas ficarão, então, brancas ou amarelo-claras. Mergulhadas numa solução de iôdo coram-se em violeta e finalmente em prêto, porque tôdas as células que contêm amido tomam esta côr quando tratadas pelo iôdo (vide pág. 22). Empregando-se fôlhas que, desde alguns dias, foram privadas de luz, não tomam a côr ou só se coram em alguns lugares ao longo dos feixes, porque o amido foi removido ou gasto por respiração e ainda não houve nova formação por assimilação. Podemos por isso fazer fàcilmente a demonstração seguinte: Colocamos uma planta durante 2 dias na câmara escura (pode servir um armário fechado) e então iluminar parcialmente as fôlhas. A prova de iôdo, em seguida mostra que o amido só foi formado nos lugares em que a luz teve acesso. Prestam-se, òtimamente, para tais experiências, as fôlhas das chagas que, durante alguns dias, forem bem cobertas por papel estanhado. Recortando-se uma figura ou uma letra na fôlha de estanho, a prova do iôdo retrata nìtidamente os lugares iluminados; até fotografias podem ser copiadas desta maneira (fig. 5).

Fig. 5
Prova de iôdo (de Sachs), mostrando que o amido só se forma nas regiões iluminadas correspondentes à inscrição. Fôlha de Chagas (*Tropaeolum majus*). Orig.

Microscòpicamente, o amido existente no interior dos grãos de clorofila, também pode ser demonstrado. Mas, geralmente, êsses grãos são de tamanho diminuto. A Urticácea *Pellionia* que possui grãos maiores serve geralmente para demonstração nos laboratórios; boas ainda são as *Peperomias*, freqüentes na América do Sul. Um corte transversal através do caule deixa ver ao microscópio todos os estados de formação de amido (fig. 6). Forma-se primeiro um minúsculo grão, no interior do cloroplasto, em geral não exatamente no centro. Em seguida, o cloroplasto deposita novas camadas de amido ao redor do grãozinho inicial. Estas camadas são maiores do lado onde se encontra mais substância do cloroplasto. Destarte o grão de amido torna-se excêntrico (*a, e*). Finalmente, torna-se maior do que o próprio cloroplasto; o lado

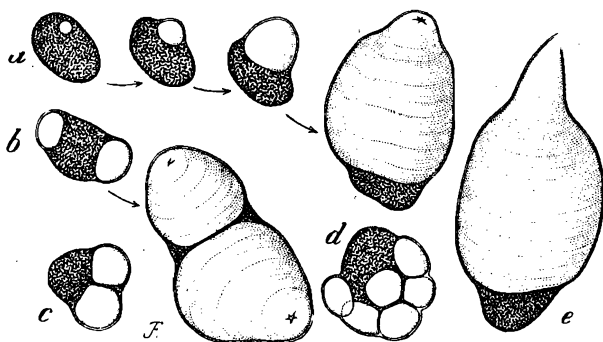



Fig. 6
Formação de grãos de amido, simples e compostos, no interior dos cloroplastos de *Peperomia sp.* Orig.

no qual está o centro ou "hilo" emerge do cloroplasto, ficando, então, coberto sòmente pela membrana delgada dêste último. Não se podem formar novas camadas dêste lado, mas, sòmente do lado oposto, onde ainda há bastante substância clorofiliana. Às vêzes, desde o início são formados mais de um centro de produção de amido, talvez dois ou mesmo três. Pelo crescimento ulterior, êstes se tocam, resultando grãos compostos (*b, c, d*).

Em outros casos, o amido é formado, desde o início, no centro do grão clorofiliano. Então, as outras camadas são precipitadas com igual espessura ao redor do hilo; desenvolvem-se grãos de amido concêntricos, como, por exemplo, no trigo (fig. 7, *e*). A forma do amido é característica para cada espécie de planta; sob o microscópio podem, pois, ser distinguidas as diferentes qualidades de amido, descobrindo-se, assim, falsificações de farinhas. Grãos de amido são especialmente abundantes nos órgãos de reserva das plantas, como em tubérculos, raízes tuberosas e sementes. Aqui são os leucoplastos que formam o amido. Preparam-no, não por fotossíntese, mas, precipitando-o do suco açucarado que é transportado das fôlhas para êsses órgãos.

A participação da clorofila na assimilação, reconhece-se, também, pelo *desprendimento do oxigênio*. Êste, que sempre é libertado du-

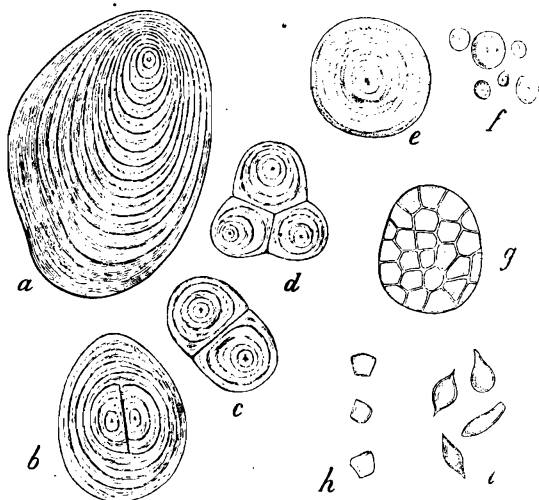



Fig. 7
Tipos de grãos de amido: *a-d*, da batatinha (*Solanum tuberosum*); *e-f*, do trigo (*Triticum durum*); *g-i*, da aveia (*Avena sativa*); *b-c-d-g*, compostos; *a-e-f-h-i*, simples. Seg. Strasburger.

rante a fotossíntese, desprende-se nas proximidades imediatas dos cloroplastos, o que foi *demonstrado por* Engelmann, numa experiência instrutiva, mas de difícil reprodução. Vestígios de oxigênio podem ser indicados por certas bactérias de fácil motilidade que possuem o chamado *aerotactismo,* isto é, procuram a fonte de oxigênio (vide pág. 153). Se colocarmos tais bactérias junto de uma célula de *Spirogyra,* na água, entre lâmina e lamínula, no escuro, todo o oxigênio desaparecerá logo da preparação, em conseqüência da respiração da *Spirogyra* e das bactérias. Em seguida, se iluminarmos o preparado, logo se inicia a assimilação com desprendimento de oxigênio livre; as bactérias, então, dirigem-se para os lugares em que o oxigênio livre se apresenta. Reconhece-se fàcilmente que a formação do oxigênio se limita às fitas clorofilianas, porque nos intervalos entre duas fitas verdes, as bactérias não se agrupam. Se iluminarmos sòmente alguns lugares da célula, nìtidamente limitados, podemos constatar, ainda, que só as partes iluminadas das fitas clorofilianas atraem as bactérias (fig. 8).

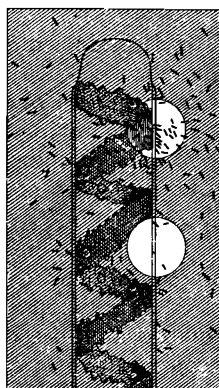



Fig. 8
Experiência de Engelmann, com um fio de *Spirogyra* e bactérias móveis. Estas procuram o O_2, que se desprende só onde há luz e clorofila. (Os círculos claros indicam as partes iluminadas). Seg. Engelmann.

O desprendimento de oxigênio durante a fotossíntese pode também ser *demonstrado a ôlho nu,* especialmente em plantas aquáticas. Cortando-se brotos de uma *Elodea* ou de *My-*

riophyllum que, freqüentemente se cultivam nos aquários, vemos bôlhas de gás que saem do corte para a água. O oxigênio que se forma na fotossíntese, primeiro entra nos espaços intercelulares que se encontram nos tecidos das fôlhas e dos caules (veremos mais tarde (pág. 99) que as plantas aquáticas geralmente possuem um sistema bem desenvolvido de aeração, sob a forma de espaços intercelulares comunicantes). Finalmente o gás sai dos espaços intercelulares em forma de bôlhas. Recolhendo estas num tubo de ensaio (fig. 9), pode-se demonstrar que êste gás é muito rico em oxigênio. Um palito em ignição, mergulhado no gás, forma uma chama viva.

Em boas condições (temperatura alta, luz clara, suficiência de ácido carbônico), para a assimilação, a corrente de bôlhas é intensa. Deslocadas as plantas para um lugar menos claro, imediatamente é retardada. O mesmo se dá se a água fôr pobre em ácido carbônico ou tiver temperatura mais baixa. O método de bôlhas serve, assim, para um primeiro estudo das condições favoráveis ou desfavoráveis para a fotossíntese.

Fig. 9
Experiência de fotossíntese, mostrando o desprendimento de O_2 por ramos de *Elodea*. Orig.

A clorofila. — Voltamos agora às propriedades químicas e físicas da clorofila. Mergulhando-se plantas verdes em álcool, a clorofila logo se dissolve neste, que toma uma côr verde-escura. Esta solução contém, além da clorofila, outros pigmentos dos cloroplastos, a carotina e a xantofila (1), do grupo dos carboidratos, com as fórmulas respectivamente $C_{40}H_{56}$ e $C_{40}H_{56}O_2$. Agitando-se esta solução crua de clorofila com benzol, é possível separar essas substâncias da clorofila pròpriamente dita, porque esta passa para o benzol. A composição química da clorofila foi largamente esclarecida por Willstaeter e Stoll (1916). Encontram-se sempre duas clorofilas, *a* e *b*, cujas fórmulas são respectivamente $C_{55}H_{72}O_5N_4$ Mg e $C_{55}H_{70}O_6N_4$ Mg. O átomo de magnésio, que certamente deve desempenhar um papel importante no processo da fotossíntese, toma lugar central na configuração da molécula (é interessante notar que a hemoglobina — pigmento do sangue de tanta importância para a respiração animal — possui uma constituição bem parecida; a diferença principal é que em lugar do Mg, encontramos na hemoglobina o ferro).

O processo químico da fotossíntese ainda não está esclarecido. Provàvelmente forma-se, em primeiro lugar, formaldeído (CH_2O), conforme a equação seguinte: $CO_2 + H_2O = CH_2O + O_2$. O formaldeído

(1) *Carotina:* a palavra provém da planta *Daucus Carota* (cenoura). *Xantophylla,* do grego: *xanthos* = amarelo; *phyllon* = fôlhas.

é um tóxico que, só pode ser tolerado em muito pequena concentração. Se, de fato, é produzido, há de ser ràpidamente transformado, o que se poderia dar por ligação de 6 moléculas de CH_2O, resultando 1 molécula de $C_6H_{12}O_6$ (ligação ou polimerização essa que o químico no laboratório consegue hoje em dia também). Assim se compreende que o formaldeído ainda não possa ter sido demonstrado com segurança, durante o processo da fotossíntese.

A única coisa que sabemos com certeza, é que os primeiros produtos devem ter a composição de um carboidrato: não devem ser nem mais pobres nem mais ricos no conteúdo relativo de oxigênio. Isso resulta do *coeficiente assimilatório,* quer dizer, da relação de O_2 libertado para CO_2 absorvido: $\frac{O_2}{CO_2}$, que geralmente é igual a 1. Seria maior se os produtos de assimilação fôssem mais pobres em oxigênio e seria menor do que 1, no caso contrário.

De importância especial são as *propriedades ópticas da clorofila.* Deve sua côr verde ao fato de absorver os raios solares, especialmente na parte vermelha e na azul do espectro, enquanto os raios da parte média passam ou são refletidos quase inabsorvidos. É claro que só os raios absorvidos podem ser empregados para trabalho fotoquímico; é a energia dos mesmos que se transforma em energia química potencial nos hidratos de carbônio.

Nas propriedades ópticas da clorofila os botânicos geralmente vêem uma adaptação das plantas terrestres às condições luminosas da nossa atmosfera. Os raios que a clorofila absorve, são contidos, de preferência, na luz difusa. Os raios azuis são espalhados e refletidos pelo céu azul. Os raios da parte vermelha até a amarela são os que passam — quase sem refração por gotículas de vapor e partículas de poeira — pelas nuvens e pela atmosfera carregada de humidade (o que se vê na côr do sol poente).

Quando a luz do sol incide diretamente, é pouco enfraquecida e contém muito mais raios da parte amarela e verde do espectro. Parece que êstes raios são perigosos quando muito intensos, por várias razões. Aqueceriam muito o pigmento e a fôlha, se fôssem absorvidos; além disso, os pigmentos fotoquímicos geralmente são muito sensíveis à luz intensa, na qual se decompõem. Isso é válido para a clorofila e assim compreendemos que as plantas, muitas vêzes, se abriguem contra a luz forte. Se vimos na pág. 22 que a *Mougeotia* vira sua placa clorofiliana para expô-la perpendicularmente aos raios solares, podemos acrescentar que, se a luz fôr muito intensa, a placa é virada novamente para ficar paralela aos raios, evitando assim, um excesso de iluminação. Nas plantas superiores, os grãos clorofilianos, quando expostos à luz forte, deixam a face superior das células, abrigando-se um atrás do outro nas paredes laterais (fig. 10). O efeito nocivo da luz seria muito maior, se os raios perigosos, amarelos e verdes, fôssem fortemente absorvidos. A falta de raias nessa parte do espectro, nos mostra que aí a absorção é mínima. Nula, naturalmente também não é. Uma solução bem concentrada de clorofila, de uma certa profundidade, não deixa passar

nenhum raio. Podemos resumir, dizendo que a *clorofila parece bem adaptada para aproveitar os raios de luz difusa, deixando passar inaproveitados os raios mais fortes da luz direta.*

Essa interpretação apóia-se na pigmentação das algas marítimas. Em camadas mais profundas do mar, as condições ópticas são bem diferentes das da atmosfera. Aqui, todos os raios são enfraquecidos. O perigo de iluminação intensa não existe. Além disso, na água limpa os raios vermelhos são os primeiros absorvidos e quase não chegam até às plantas; os amarelos e verdes já entram mais profundamente e os azuis são os últimos a serem absorvidos. É interessante notar que as algas marítimas possuem, além da clorofila, outros pigmentos assimiladores, como a ficoeritrina das algas vermelhas e a ficoxantina (1) das algas pardas. As raias de absorção dêsses pigmentos encontram-se mais próximas da parte azul, aproveitando-se assim, não os raios vermelhos que não chegam até lá, mas sim os amarelos e verdes ou azuis que atingem essas profundidades (fig. 11).

Fig. 10
Cortes transversais através do corpo flutuante de *Lemna trisulca*: *D*, posição dos cloroplastos na luz difusa; *S*, na luz intensa; *N*, à noite. Seg. Stahl.

As algas verdes-azuis possuem um pigmento, a ficociana (2), que absorve de preferência os raios da parte amarela do espectro. Isto parece ser menos uma adaptação à vida na profundidade das águas, do que à sombra, onde os raios amarelos chegam enfraquecidos.

Não só as propriedades ópticas dos pigmentos obedecem às necessidades das plantas, em relação à luz, como também boa parte de sua *morfologia* e *anatomia* pode ser interpretada nesse sentido. A forma e a estrutura da fôlha das plantas terrestres obedecem, em primeiro lugar, à necessidade de aproveitar um máximo, ou melhor, um *ótimo* de luz. Assim se compreende a grande superfície do limbo da fôlha, que se coloca horizontalmente, quando a luz não é excessiva (3). Compreende-se também, a anatomia da fôlha, representada no corte da fig. 12. Em cima, sob a epiderme superior, vemos o tecido assimilador, diferenciado em "*parênquima de paliçadas*" que deve seu nome à forma paliçádica das células assimiladoras. Nas suas paredes, os cloroplastos, para se abrigar, se dispõem uns atrás dos outros, protegendo-se contra o efeito da luz direta. Atravessada a camada paliçádica, a luz já é enfraquecida e difusa: os cloroplastos do tecido inferior podem, assim, enfrentá-la

(1) *Phycoerythrina, phycoxanthina,* do grego: *phycos* = sargaço, alga; *erythros* = vermelho; *xanthos* = amarelo.

(2) *Phycocyana,* do grego: *cyanos* = azul.

(3) No clima do Brasil muitas plantas têm as fôlhas dispostas verticalmente, apresentando as lâminas num plano paralelo ao dos raios mais intensos do sol do meio-dia. Evitam assim um excesso de iluminação e aquecimento.

sem proteção. Desta maneira se explica a desorientação das células assimiladoras dêste "*tecido lacunoso*". As lacunas entre as células são espaços intercelulares, cheios de ar, que facilitam o acesso ao CO_2 e ao oxigênio.

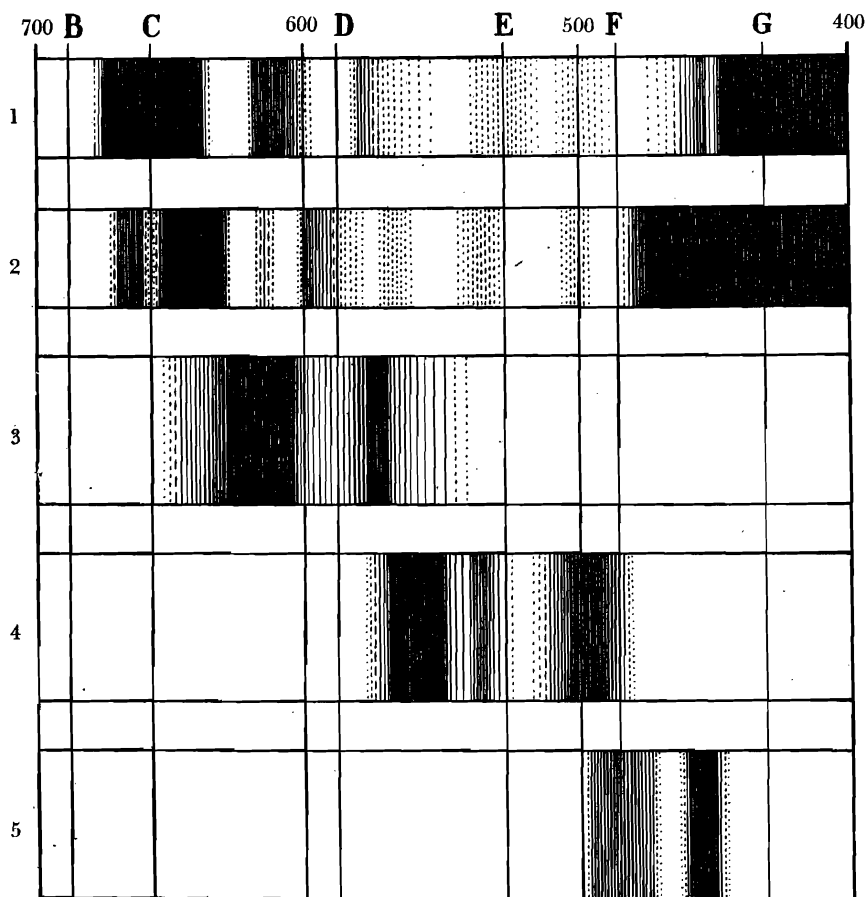



Fig. 11
Absorção dos raios luminosos pelos pigmentos assimiladores: 1, « *chlorophylla a* »; 2, « *Chlorophylla b* »; 3, « *phycocyana* »; 4, « *phycoerythrina* »; 5, « *phycoxanthina* ». Seg. Willstaetter e Stoll e outros autores.

Não só a estrutura da fôlha isolada se explica pelo aproveitamento da luz, como também a forma da planta tôda deve ser considerada sob êste aspecto. Os troncos das grandes árvores servem para elevar as copas o mais possível, na luta contínua pela luz entre as plantas. A disposição dos ramos e das ramificações que estendem a folhagem na periferia são ainda adaptações às condições luminosas; como essas condições variam segundo o habitat preferido pela espécie, cada uma tem suas peculiaridades que se revelam pela maneira de distribuição de seus órgãos assimiladores.

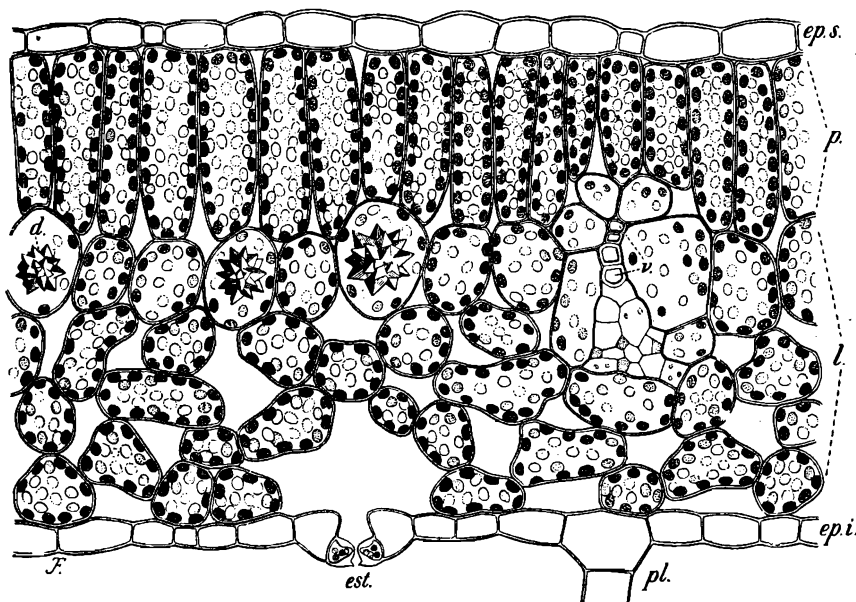
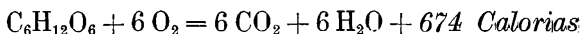



Fig. 12
Fôlha da « Saia branca » ou « Trombeteira » (*Datura arborea*). Corte transv. *ep. s.*, Epiderme superior; *p*, parênquima paliçádico; *l*, parênquima lacunoso; *v*, vasos; *ep.i.*, epiderme inferior; *pl*, pêlo; *est*, estômato; *d*, drusa de oxalato de cálcio. Orig.

3. RESPIRAÇÃO

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \textit{674 Calorias}$$

— A respiração é o processo inverso ao da fotossíntese; é a combustão lenta dos carboidratos obtidos em virtude desta última. É uma reação de oxidação, exotérmica. As 674 grandes calorias, libertadas, são as mesmas que, durante a fotossíntese, foram absorvidas dos raios luminosos pela clorofila e foram armazenadas, em forma de energia potencial, química, no açúcar.

Todo organismo vivo tem que respirar para manter sua vida; uma parte das calorias libertadas pela oxidação aparece sob a forma de calor, que pode ser verificado pelo termômetro. Outra parte, ou se transforma em energia química, ou em energia cinética, que produz trabalho. Êste trabalho é empregado em diversas reações vitais das células. Os movimentos do protoplasma, o desenvolvimento de pressões osmóticas, o crescimento e a divisão das células, a condução da seiva, a penetração das raízes no solo, etc., são processos que consomem energia.

As plantas verdes adquirem essas calorias pela própria fotossíntese, chamam-se, por isso, organismos autótrofos (1).

(1) *Autotropho*, do grego: *auto* = próprio, mesmo; *trophein* = alimentar-se.

Plantas que não possuem clorofila ou que, por outras razões, não fazem fotossíntese, tirando o material para respiração de outros sêres vivos, são heterótrofas (1). As que se alimentam de restos de organismos mortos chamam-se saprofitas; as que tiram o alimento de organismos vivos, são parasitas (2).

Todos os animais são heterótrofos. Vivem, como saprofitas ou parasitas, das substâncias que se originam, direta ou indiretamente, da fotossíntese dos vegetais.

Entre as plantas, os cogumelos, quase tôdas as bactérias e certo número de plantas superiores são heterótrofas. Nas plantas autótrofas sempre há muitos órgãos e tecidos que não vivem pela própria fotossíntese, mas que recebem substâncias elaboradas das partes verdes, por condução da seiva "elaborada". As raízes, as flores e geralmente os frutos são alimentados dêsse modo; a semente que germina, emprega, ainda, as substâncias dos órgãos assimiladores da planta-mãe, elaboradas pela fotossíntese.

Todos os sêres, e suas partes, não podem exercer suas funções, sem respiração contínua. Com poucas exceções, que serão explicadas mais adiante, a respiração sempre se realiza nas plantas como nos animais da maneira indicada na equação acima.

As células assimiladoras, durante a fotossíntese, realizam também o processo da respiração. Nelas operam-se, assim, simultâneamente, dois processos contrários, o da assimilação do carbônio e o da respiração, que também pode ser chamado desassimilação. Se fôr maior o rendimento da fotossíntese, o balanço das energias é positivo. Na luz fraca, às vêzes, a respiração ultrapassa a fotossíntese; neste caso, o balanço torna-se negativo. No interior da copa de uma árvore, a luz pode ser tão fraca, que as fôlhas aí desabrochadas trabalham com balanço negativo. Tais fôlhas são eliminadas, como veremos na pág. 136.

O fato de as plantas realizarem simultâneamente os dois processos inversos, da assimilação e desassimilação do carbônio, dificultou e atrasou muito o esclarecimento dessas reações, esclarecimento êsse que se deve especialmente às pesquisas dos franceses De Saussure e Dutrochet.

Para demonstração da respiração, pode servir a disposição representada na fig. 13. Por meio de um aspirador ou de uma bomba, aspiramos o ar que passa, primeiramente, por um vaso (K_1) com hidróxido de potássio ou de bário, onde o CO_2 do ar é absorvido, formando-se os respectivos carbonatos. O ar desprovido de CO_2 entra, então, no vaso de experiência *E*, que contém as sementes, por exemplo de ervilhas, em germinação, ou flores, ou cogumelos, etc. Pode servir qualquer planta ou parte de planta que não possa fazer a fotossíntese. Isso,

---

(1) *Heterotropho*, do grego: *heteros* = outro; organismos alimentados por outros sêres vivos.

(2) *Parasita*, do grego: *para* = sôbre, perto; *sitos* = comida; comensal.

Saprophyta, do grego: *sapro* = substância podre, detrito; organismo que se nutre de substâncias orgânicas em decomposição. A pronúncia correta é *saprofíta*, como seria também *briofíta*. Onde o uso já fixou a pronúncia proparoxítona, conservamo-la; onde o costume certo ainda não se estabilizou, preferimos a pronúncia correta, de acôrdo com o uso internacional.

A palavra parasita não deve ser empregada para orquídeas com fôlhas verdes e outras plantas que habitam nas árvores sem tirar-lhes substâncias orgânicas. Para distingui-las dos parasitas, foi introduzido o têrmo *epiphytas*, da palavra grega *epi* que significa sôbre, em cima.

caso a experiência não fôr feita no escuro (na luz, as plantas verdes empregariam o CO_2 formado pela respiração, para decompô-lo imediatamente por fotossíntese).

O gás, que sai do vaso de experiência, entra em outro vaso (de preferência da forma indicada, (P), que lhe foi dada por Pettenkofer), dentro do qual, o CO_2, formado pela respiração, pode ser novamente recolhido e precipitado pelo hidróxido de bário.

Para garantir a precipitação de todo o CO_2, anexamos outro vaso com hidróxido de bário ou de potássio (K_2), que deve ficar sem precipitado de carbonato, indicando, assim, a absorção completa do CO_2 no tubo P. Por titulação do $Ba(OH)_2$ no tubo P, antes e depois da experiência, podemos verificar a quantidade de dióxido de carbônio formado.

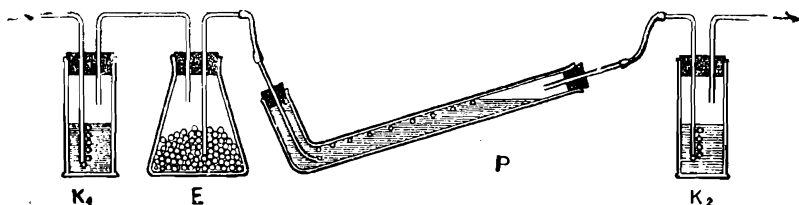



Fig. 13
Aparelho de Pettenkofer para estudo da respiração: K_1, hidróxido de potássio; *E*, ervilhas (*Pisum sativum*) em germinação; *P*, Tubo de Pettenkofer com hidróxido de bário; K_2, hidróxido de potássio.
Seg. Strasburger, Lehrbuch.

A técnica moderna conhece métodos mais perfeitos. Nos aparelhos volumétricos, introduzidos por Barcroft, calcula-se a troca dos gases na respiração, fotossíntese, etc., pelo volume dos gases formados ou absorvidos.

A demonstração da *formação de água* no processo da respiração não é fácil e requer métodos muito exatos. Em alguns organismos essa água é necessária para a manutenção da vida. Há cogumelos que vivem da decomposição do lenho. O temido *Merulius domesticus* ataca as construções de madeira, mesmo que seja sêca e, pela decomposição desta, liberta a água necessária para seu metabolismo. Também certos insetos, que destroem os livros nas bibliotecas, abastecem-se de água desta maneira.

O *calor* desprendido pela respiração pode, em certas condições, ser considerável. É suficiente colocar sementes em germinação, numa garrafa termos para observar a subida de alguns centígrados no termômetro. A temperatura elevada, que se mede no interior das espatas que envolvem as inflorescências de várias *Araceas,* ou nos botões de grandes flores de *Nymphaeas,* etc., se explica também por respiração intensa.

Como o coeficiente assimilatório na fotossíntese, podemos também examinar o *coeficiente respiratório,* que indica a quantidade do CO_2 desprendido, em relação ao O_2 absorvido; $\frac{CO_2}{O_2}$, normalmente é igual a 1, de acôrdo com a equação da respiração, que exige a mesma quan-

tidade, de 6 moléculas de CO_2 desprendidas por 6 moléculas de oxigênio absorvidas. Contudo, a planta pode também respirar outras substâncias, além do açúcar. Substâncias que são mais ricas em oxigênio, como o ácido oxálico, desprendem mais gás carbônico:

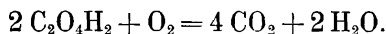
$$2\, C_2O_4H_2 + O_2 = 4\, CO_2 + 2\, H_2O.$$

O coeficiente respiratório, neste caso, torna-se 4 : 1. Se o material de respiração fôr mais pobre em oxigênio, como as substâncias graxas, que também podem ser respiradas, a absorção do oxigênio é aumentada e o coeficiente torna-se menor do que 1.

Fig. 14
Demonstração da respiração intramolecular; *a*, ervilhas germinando no vácuo de Torricelli. Orig.

Respiração intramolecular

Na ausência de oxigênio livre a respiração das plantas não cessa, mas sofre uma modificação, tornando-se respiração *"intramolecular"*. Oxigênio do meio exterior não pode ser absorvido; mas, o oxigênio contido em combinações químicas pode ser deslocado com aquisição de energia. Dêsse modo, o açúcar pode ser transformado em outras substâncias cujo total de energia potencial química é inferior ao do açúcar. A diferença de energias potenciais é libertada. O tipo mais freqüente de respiração intramolecular é a formação de álcool e CO_2, que se opera conforme a equação seguinte:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\, C_2H_5OH + 2\, CO_2 + 28 \textit{ Calorias}$$
(álcool)

A *demonstração da respiração intramolecular* pode ser feita de maneira simples. Enche-se de mercúrio um tubo de vidro bastante largo, do comprimento de um metro e fechado de um lado. Como indica a fig. 14, mergulha-se o lado aberto numa cuba cheia de mercúrio, de modo que se forma, na parte superior do tubo, o *vácuo de Torricelli,* como em todos os tubos barométricos. Algumas ervilhas ou outras sementes, que estão no início da germinação, são colocadas no mercúrio da cuba, exatamente sob a abertura do tubo de vidro. As sementes sobem pelo tubo até alcançarem o vácuo de Torricelli, onde ficam na superfície, num ambiente de vácuo, em que falta o oxigênio. Marcado o nível do mercúrio no comêço da experiência, podemos observar que

baixa paulatinamente no decurso de algumas horas. Isso indica a formação de um gás no vácuo. Êste gás, que só pode ser desprendido pelas sementes, é o dióxido de carbônio. Para prová-lo, deixamos subir pelo tubo alguns grãos de hidróxido de potássio, que absorve o CO_2. A absorção se faz em poucos minutos, durante os quais o nível do mercúrio sobe novamente, até alcançar mais ou menos a altura primitiva. Logo, quase todo gás desprendido foi dióxido de carbônio; a quantidade de álcool evaporado é insignificante.

A respiração intramolecular e a normal não são reações simples, representam uma cadeia de reações que se seguem. Recentes pesquisas têm demonstrado que as transformações que dão início às duas respirações, são iguais. A decomposição dos açúcares vai sempre até a formação de um produto intermediário, que é o acetaldeído. Na falta de oxigênio, o acetaldeído é transformado em álcool; na presença do oxigênio, o aldeído decompõe-se até oxidação completa, resultando água e CO_2 livre.

Fermentações

A equação da respiração intramolecular é, ao mesmo tempo, a equação da fermentação mais típica que conhecemos, isto é, a *fermentação alcoólica* (1). Os levedos transformam os açúcares, contidos no suco de uva, de malte, etc., em álcool e CO_2, conforme a fórmula acima dada. Muitas vêzes, êsses fungos microscópicos, que são os levedos (vide fig. 15) (do gênero *Saccharomyces* (2) e outras *Saccharomycetaceae*), vivem em soluções açucaradas que são desprovidas de oxigênio livre. Neste caso, compreendemos fàcilmente que sua respiração deve ser intramolecular e que os produtos finais são álcool e CO_2. Contudo, muitos levedos vivem na superfície dos líquidos onde não falta oxigênio e êstes também produzem álcool, em vez de realizarem uma oxidação completa, que daria um rendimento muito maior em calorias. Neste caso, a produção de álcool traz para os levedos a seguinte vantagem: nas soluções orgânicas, em que vivem, sempre há abundância de micro-organismos que disputam o alimento. Para a maioria dessas espécies, o álcool formado e desprendido pelos levedos é um tóxico mortal; só os próprios agentes da fermentação, as *Saccharomycetaceas*, alguns *outros fungos* e algumas *bactérias* podem resistir.

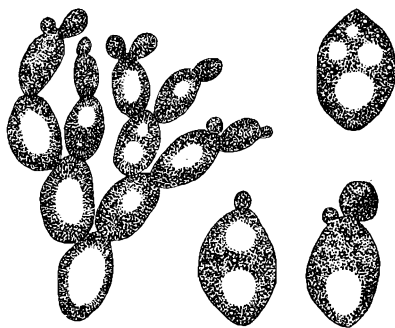



Fig. 15
Saccharomyces cerevisiae; diversos estados de brotamento. Seg. Kerner.

(1) A equação da fermentação alcoólica foi estabelecida por Gay-Lussac em 1813.
(2) *Saccharomyces*, do grego: *saccharon* = açúcar; *mycos* = fungo.

É assim que êsses micro-organismos reservam para si a exploração da preciosa solução.

O álcool, cuja formação é tão importante para muitas indústrias humanas, é, pois, um produto de grande utilidade biológica para os produtores, os levedos. No estudo da fermentação alcoólica, foram descobertos os primeiros *enzimas,* substâncias químicas, que os levedos formam, e que realizam, quìmicamente, o processo da fermentação, se forem extraídos das células. Para a fermentação não é necessária a presença de células vivas, mas sòmente a dos enzimas por elas formadas.

Ao passo que o papel dos levedos na fermentação foi esclarecido por Pasteur, devemos a Buchner a descoberta da *Zimase,* como chamou a êsse primeiro enzima preparado (1).

Hoje sabemos que na fermentação dos açúcares colaboram vários enzimas. Assim, numa solução de açúcar de cana, êste dissacarídeo é decomposto em seus componentes monossacarídeos, por um primeiro enzima, a *Invertase.* A maioria das espécies de levedos pode formar a Invertase. Mas a *Amílase,* que é necessária para atacar a molécula de amido, geralmente não é formada pelos levedos. As plantas superiores podem formá-la, como por exemplo as sementes da cevada, ao germinar. Durante a germinação a cevada transforma-se em malte, que contém em vez do amido original, vários açúcares mais simples. É essa a matéria-prima que nas cervejarias é transformada pelos levedos em cerveja.

Outros tipos de fermentação são realizados por certas bactérias. Assim as bactérias do *leite coalhado* fermentam os açúcares contidos no leite, produzindo ácido láctico. A outras bactérias devemos a transformação do álcool em ácido acético, reação essa de grande importância industrial. Para a biologia dêsses organismos, a produção de ácido desempenha um papel parecido ao do álcool para os levedos. Os ácidos também são nocivos, e entravam o desenvolvimento da maioria dos micróbios.

Como dissemos, muitas dessas reações de oxidação incompleta realizam-se na ausência de oxigênio livre, o oxigênio necessário para a respiração originando-se de outras combinações químicas. Convém notar que muitas soluções, que se acham em decomposição e em putrefação são quase ou absolutamente desprovidas de oxigênio livre, que já foi absorvido por um sem-número de micróbios, com respiração normal. É nessas condições que começa a atividade dos organismos que podem viver sem oxigênio. Chamamos a êles *"anaerobiontes"* (2), para distingui-los dos outros, os *"aerobiontes"* cuja respiração é normal. Para muitos *anaerobiontes,* os *obrigatórios,* a presença de oxigênio livre é prejudicial; outros, os *anaerobiontes facultativos,* como muitos levedos, podem viver tanto com, como sem oxigênio.

Não só os produtos finais da respiração podem ser variadíssimos nos diversos organismos, como também a *matéria inicial* varia. Já falamos dos micro-organismos que decompõem a *celulose* (pág. 24). Outras

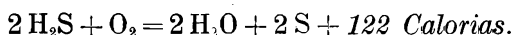
---

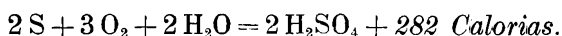
(1) As palavras *Zymase* e *enzyma* derivam do grego *Zyme* = fermento.
(2) *Anaerobiontes,* do grego: *aer* = ar; *bionte* = vivendo; *an* é uma negativa grega.

formas especializadas digerem *pectina, lignina,* várias *matérias graxas; protéicas* e outros produtos. Essas respirações e fermentações são importantes para a decomposição das substâncias orgânicas no solo. Se não existisse um sem número de bactérias especializadas, os resíduos orgânicos, provenientes das plantas e dos animais mortos, não poderiam ser destruídos e decompostos em substâncias que, novamente, podem servir à nutrição das plantas superiores. O estudo de tais organismos é uma parte importante da *Microbiologia do Solo,* ciência essa assaz recente. Para o conjunto dos vegetais e animais que colaboram na preparação do *"humus"*, foi proposta a denominação de *"edafon"* (1). Êste representa uma associação ou *"biocenose"* (2) de sêres vivos que dependem uns dos produtos do metabolismo dos outros. Na água doce e no mar há associações análogas que decompõem as substâncias orgânicas aí formadas.

Bactérias autótrofas. — Merecem atenção especial algumas bactérias que respiram substâncias inorgânicas. O exemplo mais citado é a *Beggiatoa mirabilis* que pertence ao grupo fisiológico das *Sulfobactérias* ou bactérias do enxôfre.

A *Beggiatoa* que vive em águas que contêm gás sulfídrico, (H_2S), serve-se dêste como material de respiração. A oxidação se faz em duas fases: 1.º forma-se água e enxôfre livre, que é depositado em grânulos, no interior das células.

$$2\,H_2S + O_2 = 2\,H_2O + 2\,S + \textit{122 Calorias.}$$

O enxôfre armazenado nas células serve como material de reserva; pode ser oxidado também numa 2.ª fase conforme a seguinte equação:

$$2\,S + 3\,O_2 + 2\,H_2O = 2\,H_2SO_4 + \textit{282 Calorias.}$$

O ácido sulfúrico que se desenvolve, forma, naturalmente, na solução, sulfatos diversos.

As calorias ganhas pelo processo servem não só para a manutenção do metabolismo energético, como também uma parte da energia serve para reduzir CO_2 e para formar açúcares e outras substâncias orgânicas, das quais se compõe o corpo da bactéria. No comêço dêste capítulo, distinguimos o metabolismo energético do metabolismo construtivo. Na maioria das plantas, o carbônio constitui a base de ambos os processos. Na *Beggiatoa* a oxidação do enxôfre mantém o metabolismo energético. O metabolismo construtivo depende da formação de substâncias orgânicas, cujo constituinte principal é o carbônio, como em todos os outros sêres vivos.

Outras bactérias autótrofas queimam substâncias diferentes. Assim, as bactérias *nitrificantes* oxidam o *amoníaco,* transformando-o em nitratos, reação essa importantíssima para o ciclo do nitrogênio no solo. Outras ainda oxidam *hidrogênio* e outras o *óxido* de carbônio, transformando-o em dióxido; ainda outras oxidam o *ferro.*

---

(1) *Edaphon,* do grego: *edaphos* = solo.
(2) *Biocoenose,* do grego; *coeno* = comum.

Tôdas as bactérias autótrofas são independentes de substâncias orgânicas, que, muitas vêzes, até não toleram. Constroem seus próprios organismos com substâncias orgânicas adquiridas pela redução de CO_2. Tiram a energia para esta redução da oxidação das substâncias que acabamos de enumerar. Tratando-se aqui de energias puramente químicas, chama-se também o autotrofismo dessas bactérias *quimiossíntese,* distinguindo-se assim, da fotossíntese dos outros vegetais.

4. APROVEITAMENTO DA ÁGUA

A. Fôrças de sucção das células em geral

O ciclo da água na planta consiste em absorção e transpiração, entre as quais pode ser intercalada a condução.

Todos êsses processos obedecem e dependem das leis físicas da *osmose,* pois tôdas as células vegetais representam sistemas osmóticos. Nos processos osmóticos trata-se de fenômenos de *difusão.*

Quando dissolvemos, por exemplo, um sal na água, as moléculas dêste espalham-se por todo o líquido, até difusão completa, quer dizer, até que a concentração ou a quantidade de moléculas dispersas em qualquer parte do líquido seja a mesma. Tal difusão exerce-se com uma certa fôrça física. Na solução de uma substância na água, além da difusão, geralmente entram em jôgo outras causas que aceleram a mistura, como correntes de convecção, que diflcilmente podem ser excluídas nas condições comuns. Excluídas tais causas, pode ser demonstrado que a difusão, em líquidos, se dá geralmente com relativa lentidão. Se colocarmos um cristal de sulfato de cobre ou de permanganato de potássio ou de outra substância solúvel, de côr, num tubo longo, cheio de água, podemos observar a pequena velocidade de tais processos.

A difusão opera-se também através de substâncias coloidais, no estado de hidrogel. Assim, superpondo-se, num tubo de ensaio, à gelatina, diversos corantes dissolvidos em água, os pigmentos entram na gelatina por difusão. Podemos constatar que diferentes corantes difundem com velocidades diferentes. Ácido pícrico difunde, por exemplo, muito mais ràpidamente do que azul de anilina. Misturando ambos, obtemos uma solução verde. Sobreposta esta a uma camada de gelatina, logo se verifica uma separação dos dois corantes: o ácido pícrico toma a dianteira, corando a zona mais afastada em amarelo.

Se forem separadas duas soluções por uma membrana que não seja perfeitamente impermeável aos solventes ou às substâncias dissolvidas, falamos em *osmose.* A mistura das substâncias nos dois líquidos depende então da difusão através das membranas. Podemos imaginar uma membrana de gelatina que separa dois líquidos, por exemplo, uma solução aquosa de ácido pícrico e uma de azul de anilina. Nesse caso, a gelatina deixa passar tôdas as substâncias, mas com velocidades diferentes. A água passa mais ràpidamente do que o ácido pícrico e êste precede o azul de anilina. Às vêzes a velocidade com que passa uma

substância é tão diminuta que é igual a zero. Assim, uma membrana pode deixar passar só o meio dissolvente, retendo completamente as moléculas dissolvidas. Nesse caso falamos em *semipermeabilidade.*

Já nos referimos (pág. 25) à existência nas células vegetais, de tal semipermeabilidade que deve ser atribuída à camada protoplásmica que separa o vacúolo de uma célula, do meio ambiente. Assim, todos os processos de entrada e saída de líquidos nas células vivas dependem da permeabilidade plasmática, que é objeto de estudos muito amplos em tôda a fisiologia, especialmente a vegetal.

Como *modêlo físico* para demonstração de membranas semipermeáveis usa-se de preferência, a chamada *"célula de Traube"*. Postas em contato soluções de sulfato de cobre e de ferrocianeto de potássio, forma-se um precipitado de ferrocianeto de cobre. Êste sal pode formar membranas semipermeáveis. É suficiente mergulhar um cristal de sulfato de cobre numa solução de ferrocianeto de potássio. Neste caso, em redor do cristal forma-se uma membrana de precipitação de ferrocianeto de cobre. Tal membrana é semipermeável; não deixa mais passar moléculas de sulfato de cobre, que, pelas leis da difusão, deveriam se misturar com a solução aquosa do ambiente. Da mesma maneira também não deixa entrar o ferrocianeto de potássio. Sòmente a água pode passar; esta passa do lugar de maior concentração para o de menor (em relação à água, a maior concentração é onde há mais água, e onde a concentração do sal é menor). Assim, a água atravessa a membrana de precipitação em direção ao cristal, cujas moléculas entram aos poucos em solução. Dêsse modo, o volume, no interior da membrana aumenta até que a célula se rompe. Nas fendas formam-se novos precipitados que refazem sempre novamente a membrana. O sistema aumenta cada vez mais de volume e durante a demonstração podemos acompanhar perfeitamente êsse crescimento da célula de Traube.

Fig. 16
Demonstração da osmose.
Seg. Dutrochet.

Outras membranas, de relativa semipermeabilidade, são o papel pergaminho, a bexiga de suínos e o celofane hoje em dia muito usado. Fechando-se bem uma campânula, do lado inferior, por tal membrana, temos um aparelho que serve para experiências (fig. 16). É suficiente en-

cher a campânula com uma solução de açúcar e mergulhá-la em água, para vermos logo subir o líquido no tubo. O açúcar não pode sair do sistema, mas a água pode entrar; assim a difusão torna-se unilateral, elevando muito o nível da solução. Pelo fato de a água ser elevada no tubo, podemos concluir que a difusão se produz com uma certa fôrça. Para medir tais fôrças, podemos anexar ao tubo um manômetro. Nesse caso verificamos que a entrada de água cessa, quando fôr atingida uma certa pressão.

Para realizar tais medidas, o afamado botânico e fisiologista W. Pfeffer modificou o aparelho, servindo-se, em vez da campânula, de um vaso de barro poroso (fig. 17). Enchendo-o de uma solução de ferrocianeto de potássio e mergulhando o vaso agora numa solução de sulfato de cobre, conseguiu a formação da membrana de Traube no interior dos poros do barro. Assim apoiada, a membrana tem grande resistência e pode ser considerada como quase absolutamente semipermeável, ao passo que as membranas de pergaminho, etc., deixam passar quantidades perceptíveis das substâncias dissolvidas. O tubo fàcilmente pode ser transformado em manômetro; destarte a *célula de Pfeffer* torna-se um verdadeiro *osmômetro,* com o qual foi possível demonstrar que, para substâncias dissolvidas em líquidos, a lei dos gases é válida: a pressão cresce em proporção à quantidade das partículas (1) em solução (lei de Vant'Hoff).

Fig. 17
Esquema da célula de Pfeffer: *Sol.*; solução; *Mb.*, membrana semipermeável; *V.*, vaso de barro poroso; *Tm.*, tubo manométrico; *M.*, mercúrio. Seg. Jost.

Se a solução fôr elevada no tubo até uma certa altura, é claro que deve exercer uma pressão hidrostática, de cima para baixo, no sentido de expulsar uma parte da solução ou da água para fora da célula. Assim, a pressão hidrostática age contra a pressão osmótica, que impele as moléculas de água para dentro da célula. No momento em que cessa a subida da solução no tubo, a pressão hidrostática atingiu o mesmo valor que a pressão osmótica. Uma pressão osmótica que eleva água num tubo a 10 metros (ou mercúrio a 76 cm) é do valor de uma atmosfera. Uma solução a 1 % de sal de cozinha (NaCl) exerce uma pressão de 8 atmosferas, podendo assim elevar água no tubo, até 80 metros. Em solução saturada êsse sal pode exercer uma pressão de 369 atm. Uma solução saturada de açúcar de cana desenvolve uma fôrça osmótica de 220 atm. As concentrações do suco celular variam muito; conhecemos valores osmóticos desde poucas atmosferas até mais de 100.

A célula vegetal pode ser comparada a uma célula de Pfeffer. A camada protoplásmica representa a camada semipermeável; o suco ce-

(1) Geralmente, trata-se de átomos ou moléculas. Estas podem ser separadas em íons. Nas soluções coloidais, aglomeram-se em grupos maiores as « micelas ». (v. pág. 19). Do número destas partículas depende a pressão.

lular, a solução do interior do vaso. A água exterior, no caso de uma planta aquática, como a *Spirogyra*, existe sempre no ambiente. Nas plantas terrestres, a membrana celulósica que reveste a célula viva, quase sempre está embebida de água. A maior diferença entre êste sistema osmótico vivo e a célula de Pfeffer, é a ausência de um tubo, no qual possa entrar o excesso de solução. A água que entra, deve ficar, pois, no interior do vacúolo, que se intumesce. Logo, o interior da célula distende a membrana celulósica. Esta que geralmente é elástica, cede à pressão. Mas, quanto mais se distende, exerce, por seu lado, uma pressão elástica, tendendo a se contrair. Temos, dêsse modo, na contratibilidade elástica da membrana, uma fôrça que age contra a pressão osmótica do interior. Também na célula vegetal chega o momento em que as duas fôrças se contrabalançam e em que a *pressão da membrana* (*M*) é igual à pressão exercida pelo vacúolo ou interior da célula. Esta pressão do interior pode ser chamada *sucção do interior* (*Si*), pois é igual à fôrça com que o suco celular absorve a água do exterior. No momento em que *Si* é igual a *M*, a entrada de água pára. Tôda a célula está agora saturada e não pode absorver mais água do ambiente. Neste estado, dizemos que a fôrça de *sucção da célula tôda* (*Sc*) é igual a zero.

Se tal célula saturada perde água, talvez por evaporação, a membrana se contrai, até finalmente perder tôda a tensão. Neste caso, a célula está murcha. O valor de *M* agora é zero. Novamente posta em contato com a água, a célula absorve, com tôda a pressão osmótica que o vacúolo possui, a água de fora. Neste estado a sucção da célula *Sc* é igual a *Si*. À medida que, pela entrada de água, a membrana é distendida, ela exerce novamente uma reação crescente que diminui o valor de *Sc*. Num tal estado *Sc* é igual à diferença entre *Si* e *M*.

$$Sc = Si - M.$$

Dêsse modo, na célula saturada, *Sc* é igual a *O*, sendo *Si* igual a *M*. Na célula completamente murcha, *Sc* é igual a *Si*, *M* sendo igual a *O*. As plantas aquáticas — em água doce — geralmente se encontram no estado saturado. O mesmo é válido para células e tecidos de plantas terrestres que mergulhamos na água, o que fazemos com as preparações que examinamos no estado vivo sôbre a lâmina. As plantas terrestres que, em vida, perdem sempre água por transpiração, geralmente se encontram num estado intermediário entre saturação e murchamento.

A distensão elástica das paredes dá aos tecidos a sua rigidez e solidez, especialmente no caso em que êstes não são munidos de elementos mecânicos. Assim se explica o afrouxamento da planta, que perde água.

Para esclarecimento e ilustração do comportamento osmótico da célula, serve uma experiência fundamental: a *plasmólise* (1). Nos exemplos considerados até agora, a célula, natural ou artificial, absorve

(1) *Plasmolyse*, do grego: *lyein* = dissolver, desligar.

água do ambiente porque a solução do interior da célula (*Si*) possui concentração maior. O que acontecerá se as células forem colocadas num líquido que também tem um valor osmótico, com o qual pode exercer uma sucção osmótica?

Mergulhada a célula numa solução açucarada, cuja concentração é superior à do vacúolo, é claro que agora os fatos se invertem: a água vai sair da célula, esta perderá em volume, como se perdesse água por evaporação. A membrana se contrai até afrouxamento; sob o microscópio, muitas vêzes, podemos medir a contração que pode alcançar um valor percentual considerável; mas isto não é tudo; o vacúolo continua a perder água, as paredes das células não podem mais acompanhar a contração; só o vacúolo continua a diminuir, sendo acompanhado pelo protoplasma que se afasta da membrana como se pode ver na fig. 18. O espaço entre citoplasma e membrana enche-se com a solução

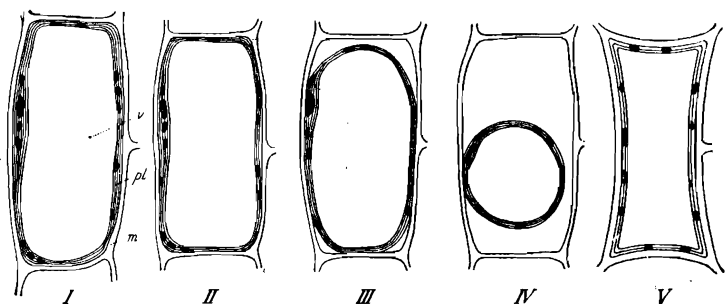



Fig. 18

Esquema da plasmólise *I*, Célula no estado saturado com membrana distendida; *II*, a mesma célula na solução plasmolítica; a membrana contraída, o protoplasma ainda não desligado; *III* e *IV*, estados progressivos de plasmólise; *V*, célula contraída mas não plasmolisada; *m*, membrana: *pl*, protoplasma; *v*, vacúolo. *I* — *IV*, seg. De Vries; *V*, original.

do exterior, que passa pela membrana celulósica. O afastamento do citoplasma da membrana (que deu ao fenômeno o seu nome), nem sempre se opera sem dificuldade. Às vêzes o citoplasma está prêso à membrana por inúmeros fios e fibras que ocupam os interstícios da mesma. Neste caso, o protoplasma se afasta só parcialmente da parede, ficando ligado a ela por meio de alguns filamentos, os *"fios de Hecht"*.

Com proveito empregamos, para tais observações, células com vacúolo corado. Assim, a epiderme inferior das fôlhas de *Tradescantia zebrina* (fig. 13) contém, dissolvida no suco celular, a *antociana* (1), pigmento êsse muito freqüente no reino vegetal que, em geral, é responsável pelas côres azul e roxa em fôlhas e flores. Fragmentos vivos de tal epiderme numa preparação microscópica permitem-nos observar perfeitamente a plasmólise. Só é preciso substituir a água da preparação por uma solução de açúcar a 10 %, ou de glicerina, ou de nitrato de potássio, etc. Quase imediatamente observamos o afastamento do protoplasma e podemos ver que o suco celular vermelho permanece dentro

(1) *Anthocyana*, do grego: *anthos* = flor; *cyanos* = azul.

do vacúolo. O citoplasma não deixa sair a antociana, como não deixa entrar o açúcar da solução do exterior. Observamos com tôda a facilidade os estados da fig. 18.

Se substituirmos novamente a solução exterior concentrada por água pura, podemos observar o processo contrário: a *deplasmólise*. Agora o suco celular é mais concentrado e atrai, por seu lado, a água de fora. Podemos, de novo, acompanhar sob o microscópio, o intumescer do vacúolo, até que o estado de saturação da célula seja atingido. Durante o processo da plasmólise e da deplasmólise a célula permanece viva.

Tôda solução capaz de provocar a plasmólise deve ser mais concentrada do que o suco celular; chama-se *"hipertônica"*. Uma solução da qual a célula retira água, como no caso da deplasmólise, é certamente menos concentrada, ou *"hipotônica"*. Uma solução exterior cujo valor osmótico é igual ao do vacúolo, chama-se *"isotônica"* ou *"isosmótica"*.

Há casos em que uma solução hipertônica não provoca plasmólise: o citoplasma pode estar tão intimamente ligado à membrana celulósica, que um afastamento da membrana citoplásmica não é possível. A perda de água então causa a contração da célula tôda (fig. 18 *V*). A membrana celulósica é retraída para o interior; ela agora tem a tendência de se distender. A sua fôrça elástica, neste caso, age no mesmo sentido que a sucção osmótica do vacúolo *Si*, e a equação da sucção total da célula torna-se: $S_c = S_i + M$.

Êste fenômeno também ocorre quando as células perdem água por dessecamento ao ar. Em fôlhas de coníferas foram constatados — no fim do inverno europeu — valores de $M = 200$ atm, que se adicionaram a valores de *Si* em redor de 40 atm.

Com o método da plasmólise podemos constatar e calcular as concentrações que existem no interior do vacúolo, quer dizer, o valor de *Si*; podemos também verificar a fôrça de sucção da célula tôda (*Sc*), que existe num momento dado. Para cálculo de *Si* emprega-se o estado de *plasmólise limite* ou incipiente. Podemos graduar as concentrações da solução exterior de maneira que nas mais concentradas a plasmólise é bem acentuada ao passo que nas mais fracas não há plasmólise. Deve existir uma concentração intermediária que justamente não provoca a plasmólise, sendo isotônica com o vacúolo. Êste estado, o de "plasmólise limite" se conhece nas preparações pelo fato de mostrarem algumas células vestígios de plasmólise, ao passo que outras permanecem não plasmolisadas. O técnico geralmente determina o estado de plasmólise limite, quando 50 % das células mostram plasmólise. Nesse estado, a solução exterior pode ser considerada como isotônica à do interior. É verdade que as células, por contração, já perderam uma parte de seu volume anterior; mas, medindo e calculando essa diminuição, podemos avaliar o valor osmótico de *Si* no estado normal da célula.

Além disso há outros métodos para determinar o valor osmótico, tirando o suco celular, talvez por compressão, e empregando métodos físicos como os crioscópicos (baseados no abaixamento do ponto de congelação), que indicam a concentração.

O valor de *Sc* ou a sucção total da célula num estado qualquer, pode também ser verificado por meio de soluções graduadas, nas quais mergulhamos as células: numa solução exterior cujo valor osmótico é superior à fôrça de sucção da célula, esta perde água e diminui. Numa solução exterior cuja fôrça de sucção osmótica é menor, a célula aumenta. A solução dentro da qual a célula fica inalterada, indica um valor osmótico igual à fôrça de sucção da célula tôda.

É verdade que a aplicação dêsses métodos encontra mais dificuldade prática do que se imagina. Todavia tais métodos permitem determinar os valores de *Si* e *Sc* e com isso podemos calcular o valor de *M*. Essas medidas são de grande alcance para as nossas idéias sôbre o aproveitamento da água das células e tecidos, assuntos de igual importância para a teoria e para a prática. São a chave para a compreensão de todos os capítulos que se referem ao aproveitamento da água.

B. Absorção da água

Já vimos como uma célula mergulhada na água se reabastece até saturação completa. Assim, uma célula de planta aquática, como a da *Spirogyra,* na água doce, geralmente pode ser considerada em estado de saturação. É possível que as células saiam da água, como no esquema da fig. 19. Nesse caso a célula apical que está em contato com o ar deve desprender água por evaporação. No estado saturado, *M* era igual a *Si;* agora, a saída de água provoca diminuição de volume, a parede se contrai parcialmente e perde uma parte de sua tensão e fôrça elástica: *M* diminui. Dêsse modo *M* torna-se menor do que *Si* (que aliás aumentou ainda pela perda de água, o que eleva a concentração). *Sc,* que no estado saturado era igual a zero, torna-se um valor positivo. A sucção da célula exerce-se contra a célula subjacente que, estando saturada, oferece pouca resistência à saída de água. Desenvolve-se, assim, uma corrente de água, da célula inferior para a superior. Com a perda de água, a célula inferior também aumenta a fôrça de sucção, atraindo, então, água do ambiente e das células mais baixas que ainda estão completamente saturadas.

Fig. 19
Esquema mostrando a corrente de água, que se desenvolve numa alga parcialmente mergulhada. (Compare com o texto). Orig.

É por meio de tal corrente de água, mantida por osmose, que plantas mais simples, como musgos e hepáticas, podem reabastecer suas partes aéreas. Na planta mais adiantada, terrestre, além de tais correntes osmóti-

cas, existe geralmente um vasto sistema condutor que vamos estudar mais adiante. Mas, até que a água alcance os vasos condutores, é levada evidentemente por correntes osmóticas. Assim, a raiz, no solo, por meio de muitos pêlos absorventes geralmente está em contato amplo e íntimo com a solução do solo que ocupa uma parte dos espaços capilares entre as partículas da terra (fig. 20). Os pêlos absorventes comportam-se, como tôdas as outras células que acabamos de estudar. A solução do seu suco celular atinge pressões osmóticas de várias atmosferas, com as quais atrai a água do solo. Logo se saturaria, se não estivesse em contato com outras células dos tecidos que perdem contìnuamente água para o sistema condutor. Estabelece-se, pois, uma corrente de água dos pêlos absorventes até o sistema condutor.

Um solo saturado de água cede-a às raízes, quase sem resistência. Ressecando-se, o solo retém a água com fôrças cada vez maiores. Pela perda de água, a solução do solo, por sua vez, vai se concentrando e assim adquire do seu lado certa fôrça osmótica. No mesmo sentido agem as fôrças capilares e muitas vêzes há no solo substâncias coloidais, hidrófilas, que também atraem e retêm água. Portanto, um solo aparentemente sêco pode conter boa porção de água, que é re-

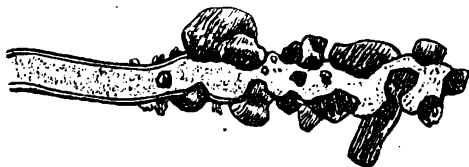
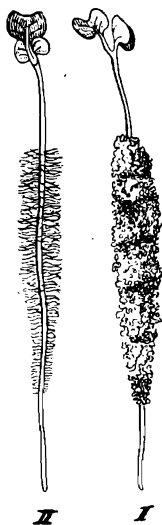



Fig. 20
Plantinhas de mostarda (*Sinapis alba*) com pêlos absorventes; em *I*, com terra aderente. Ao lado, aumentada, a ponta de um pêlo concrescido com partículas de terra. Seg. Sachs e Noll.

tida com grande fôrça. Se essa *fôrça de sucção do solo* domina as sucções desenvolvidas pelas raízes, o solo retira a água destas. Isso pode acontecer e nestes últimos anos foi mostrado que, em épocas muito sêcas, há plantas que se desfazem de tôdas as raízes delicadas expostas a tal perigo. Quando começam as chuvas, o sistema radicular se cobre ràpidamente de novas raízes secundárias.

Segundo o esbôço que acabamos de dar, a absorção de água seria um processo quase puramente físico, dentro do qual a própria vida das células participa só na formação de membranas protoplásmicas semipermeáveis — pois estamos lembrados de que a semipermeabilidade está ligada à vida do protoplasma. Na verdade, a absorção da água pelas raízes é um processo fisiológico, que depende, em mais de um sentido, da atividade vital das células.

Em primeiro lugar, a semipermeabilidade destas é variável. Nunca é absoluta; as células deixam entrar, com a água, uma parte dos sais contidos no solo, como vamos ver mais detalhadamente no capítulo seguinte. Veremos então, que as células têm uma capacidade de escolha das substâncias que devem entrar e das que devem ficar fora. Sem dúvida, a semipermeabilidade do protoplasma para certas substâncias pode ser alterada pelo próprio protoplasma. Como isso se pode dar, é muito problemático e constitui objeto de ampla literatura científica.

Aliás, também para água pura a permeabilidade varia. O protoplasma sempre opõe certa resistência à passagem das moléculas de água, resistência essa que não deve ser negligenciada e que pode crescer. P. ex., em temperaturas mais baixas, mas ainda acima de zero, a entrada de água é retardada. Pode, pois, acontecer, como mostrou Julius Sachs, que uma planta, cujas raízes mergulham num solo bem húmido, pode murchar, se o solo fôr bastante frio. O fumo e a abóbora perderão a turgescência se o solo fôr resfriado a temperaturas de 4° ou 2° C acima de zero. A ausência de oxigênio e a presença de substâncias tóxicas no solo também prejudicam a absorção da água. Assim, um solo que fìsicamente está húmido, pode ser *"fisiològicamente sêco"*, se por uma das razões mencionadas, as raízes não puderem absorver a água. Tudo isso são indícios de que a absorção da água não é um processo simplesmente físico, mas depende de reações vitais que aliás ainda são problemáticas e precisam ser examinadas detalhadamente.

C. Transpiração

A transpiração da água pela planta obedece às mesmas leis que regulam a evaporação em qualquer sistema físico. Contudo, a compreensão da transpiração vegetal é dificultada por muitas complicações, baseadas na morfologia e na fisiologia das plantas. Já nas células simples não é o vacúolo que transpira diretamente, passando a água primeiro para a camada citoplásmica, da qual entra para a membrana celulósica. Esta última é, como sabemos, geralmente porosa, embebida de água; ela está em contato com o ar e representa a verdadeira superfície de evaporação. Mas, na realidade, isso não é muito importante, porque o vacúolo, o protoplasma e a membrana devem se pôr em equilíbrio, e a membrana deve reter a água com uma fôrça que é igual à fôrça de sucção da célula tôda.

A fôrça com a qual a membrana absorve e retém água baseia-se na capilaridade; a camada protoplásmica retém e absorve água com fôrça de hidratação. Estas duas fôrças se põem em equilíbrio entre si e com a fôrça osmótica do vacúolo. Assim, a evaporação da membrana depende da fôrça de sucção da célula tôda; se esta fôr saturada, deve evaporar água com a mesma intensidade que uma superfície livre de água que se encontra na mesma situação. Na célula não saturada a membrana evapora menos para a atmosfera.

A intensidade da transpiração de uma célula simples depende, pois, do seu estado de saturação; depende ainda do estado de saturação da atmosfera, quer dizer, da *humidade relativa* desta (1). Se o ar estiver saturado de humidade, tôda a transpiração deve cessar.

Todavia, é preciso fazer uma ressalva: o higrômetro pode indicar humidade relativa do ar de 100 por cento, quer dizer, saturação, e, no entanto, podemos observar transpiração de plantas.

A aparente contradição se explica pela irradiação solar que pode aquecer as plantas de vários graus centígrados. O calor da planta transmite-se à atmosfera próxima. Aquecido, o ar é menos saturado, quer dizer, pode absorver mais água; assim, bem perto das fôlhas a humidade relativa pode ser menor do que a que o higrômetro indica a certa distância.

Para as plantas terrestres, um dos maiores perigos é a transpiração excessiva. As regiões mais sêcas da terra são cobertas de desertos. Só em regiões húmidas podem as plantas desenvolver-se tão exuberantes como nas costas tropicais e subtropicais do Brasil. Mas, também em climas húmidos, as plantas terrestres precisam de múltiplas

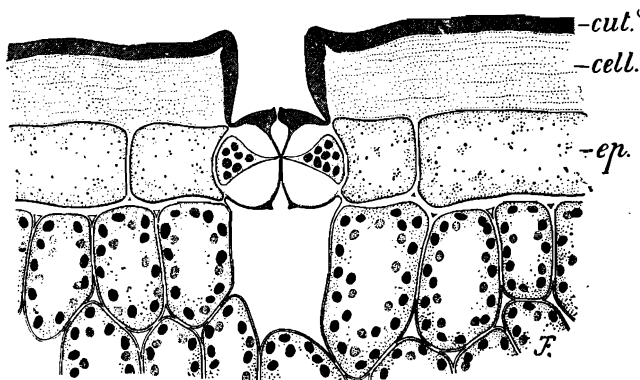



Fig. 21
Corte transv. de fôlha de um cravo (*Dianthus caryophyllus*): *cut*, cutícula; *cell*, camadas celulósicas; *ep*, epiderme; no centro um estômato. Orig.

proteções contra a evaporação durante horas ou dias secos. Com poucas exceções, as plantas ou suas partes que vivem no ar são protegidas por uma camada especial de células, a *epiderme*. Geralmente, as células epidérmicas mostram íntima ligação entre si, são bem unidas, sem deixar espaços intercelulares. Na superfície exterior são munidas de uma película que as reveste em comum, a chamada *cutícula* (fig. 21). Ao contrário do que foi dito das membranas celulósicas, a cutí-

(1) *Humidade absoluta* chama-se a quantidade de água atualmente presente no ar. Exprime-se em gramas de água contidas num metro cúbico de ar. Mais importante torna-se o conhecimento da relação desta quantidade para com o máximo de água, que nas mesmas condições de temperatura e pressão atmosférica o ar poderia absorver (humidade no estado de saturação). Humidade absoluta dividida por humidade no estado de saturação, dá a *humidade relativa*. Esta geralmente é expressa em valor porcentual da humidade no estado de saturação. A evaporação é inversamente proporcional à humidade relativa — permanecendo as outras condições constantes.

cula não é embebida de água, mas sim de substâncias graxas, como a cutina, que representa uma mistura de várias substâncias graxas e de cêras. Essas substâncias são relativamente pouco permeáveis à água, impedindo ou diminuindo muito a transpiração.

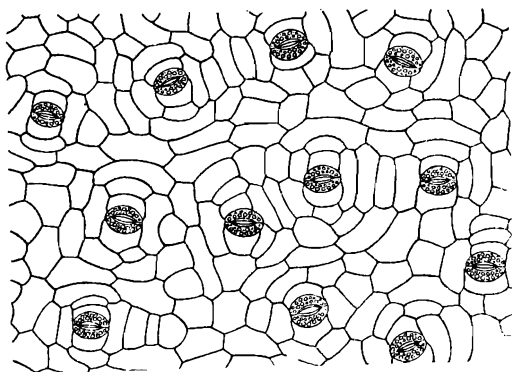



Fig. 22
Epiderme da fôlha do « Copo de Leite » (*Zantedeschia* ou « *Calla* » *aethiopica*), vista de cima com os estômatos. Orig.

Estômatos. — É claro que nenhuma planta poderia viver hermèticamente isolada do exterior. Assim, na epiderme estão inseridas aberturas que tornam possível a troca de gases necessários para a respiração e fotossíntese (fig. 22).

Já em plantas primitivas, terrestres, encontramos tal aparelhamento. A fig. 23 mostra um estômato de uma hepática, a *Marchantia,* que não possui folhagem bem distinta dos caules (vide fig. 163, pág. 171). Não podemos dizer se é possível comparar tôda a planta com uma fôlha sem caule, ou com caule frondoso, achatado, em forma de fôlha. A tais organismos chamamos *talos* (1), ao passo que denominamos

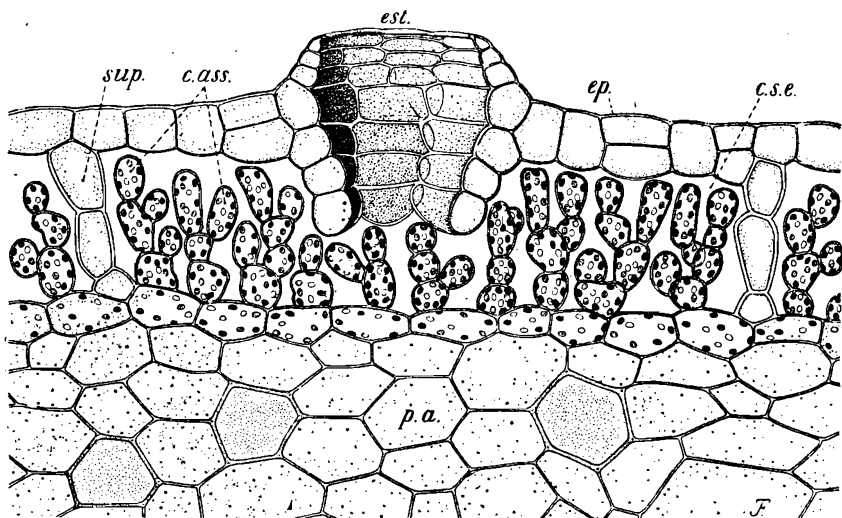



Fig. 23
Corte transv. do talo de uma *Marchantia* sul-americana (*M. chenopoda*); *est*, estômato; *ep.* epiderme; *a.s.e.*, camada subepidérmica; *c. ass.*, células assimiladoras; *sup.*, paredes de suporte; *p.a.*, parênquima. Orig.

(1) *Thallo*, do grego: *thallos* = brôto.

cormo ao corpo das plantas que deixam distinguir caule e fôlhas. Muitas Hepáticas têm cormo (*Hepaticae foliosae*), outras *talo* (*Hepaticae frondosae*). Muitas das hepáticas frondosas mostram pouca diferenciação no *talo*. As *Marchantiaceae*, entretanto possuem uma epiderme bem diferenciada do tecido subjacente, assimilador, cujas células são dispostas em fileiras ramificadas. Na epiderme existem aberturas bem características, a que já podemos chamar estômatos. Tais estômatos são rígidos, não podem ser fechados.

A planta superior tem estômatos reguláveis que podem ser parcial ou totalmente fechados. A fig. 24 mostra um dêsses estômatos visto de cima e de perfil.

Os estômatos compõem-se de duas células estomáticas que provêm de uma só célula, por divisão longitudinal. Entre as duas células irmãs se abre na parte média uma fenda, o ostíolo. Essa fenda comunica-se com vasto espaço intercelular, no interior da fôlha, como se vê no corte transversal. O ostíolo pode ser alargado e estreitado e finalmente fechado pelo seguinte mecanismo: as duas células estomáticas têm membranas que são espessadas do lado interior, quer dizer, do lado onde se encontra a fenda. Do lado oposto, as membranas são finas. No estado de turgescência, saturadas de água, as células estomáticas distendem suas membranas, como tôdas as outras células. Os reforços do lado interior opõem resistência maior à distensão, ao passo que a membrana delicada do exterior se distende mais fàcilmente. Resulta disso que no estado turgescente as células estomáticas tomam uma forma curvada, sendo o lado convexo o exterior, ao passo que o lado interior se torna côncavo. Entre as concavidades das células estomáticas, o ostíolo se abre. Se as células estomáticas perdem água, tornando-se menos turgescentes,

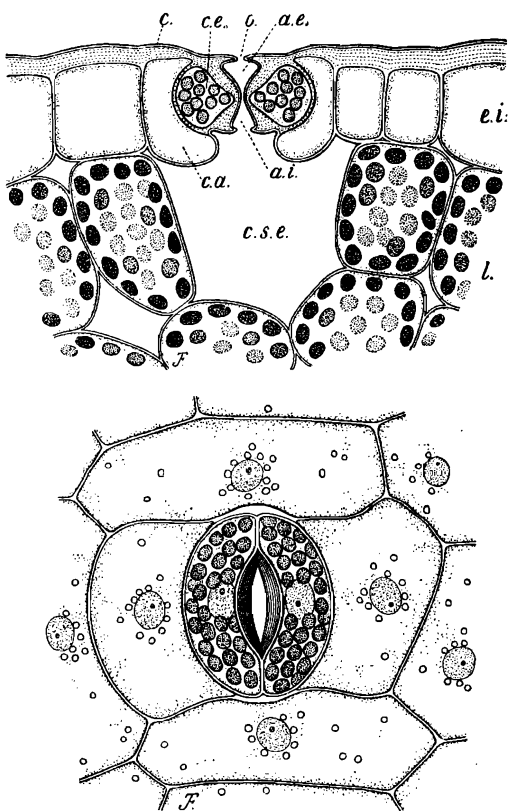



Fig. 24
Estômato do Copo de Leite (*Zantedeschia aethiopica*) Vista de perfil e de cima: *a.e.*, *a.i.*, átrios externo e interno; *c.*, cutícula; *c.a.*, célula anexa; *c.e.*, célula estomática; *c.s.e.*, câmara subestomática; *e.i.*, epiderme inferior; *l.*, parênquima lacunoso; *o.*, ostíolo. Orig.

a distensão da membrana exterior diminui, diminuindo a curvatura das células e desaparece também a concavidade. O estíolo está fechado (fig. 25).

Os *estômatos de Gramíneas* representam um outro tipo (fig. 26). Cada célula estomática é dividida em duas partes (*d*) que são quase perfeitamente separadas por um espessamento das membranas que ocupam quase tôda parte central (*r*). (Conserva-se um lúmen estreito; vide fig. 26, 4). As partes livres da célula se intumescem no estado turgescente afastando, assim, as partes ocupadas pelo espessamento que deixam entre si uma fenda, o ostíolo.

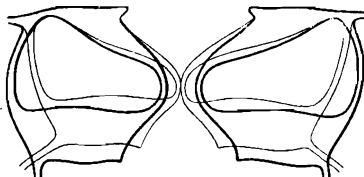



Fig. 25
Estômato de *Helleborus*, em perfil. Esquema: aberto (traços fortes) e fechado. Seg. Schwendener.

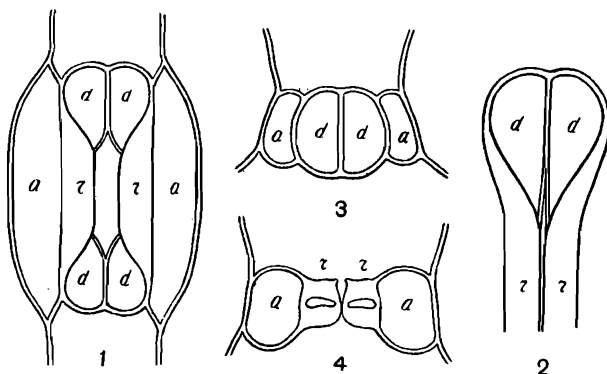



Fig. 26
Estômato de gramínea (*Poa annua*): 1, vista total, de cima, aberto; 2, vista parcial (região apical) de cima, fechado; 3, perfil da região apical; 4, perfil da região média; *a*, células anexas; *d*, partes com membrana delgada; *r*, partes com membrana reforçada das células estomáticas. Seg. Haberlandt e Schwendener.

Por êsses mecanismos as plantas conseguem que, no estado turgescente da fôlha, todos os estômatos estejam abertos; na fôlha murcha são automàticamente fechados. Aliás o funcionamento não é absolutamente automático; não obedece só às leis físicas do aparelho. A planta pode intervir, regulando o processo. Notamos que, ao contrário das outras células epidérmicas, as do aparelho estomático são munidas de cloroplastos. Possuem também grãos de amido que podem transformar em açúcar. Por tal transformação as células estomáticas podem aumentar ou diminuir o valor osmótico do vacúolo. Atraem assim água das células adjacentes ou deixam saí-la para elas. Dêsse modo, a planta pode fechar os estômatos também no estado turgescente da fôlha, o

que se dá muitas vêzes à noite. A luz da manhã, ao contrário, exerce uma irritação que determina a abertura, até certo ponto independente do estado de turgescência da fôlha.

Um bom funcionamento do aparelho estomático é muito importante para a alimentação das plantas. Para a fotossíntese, a entrada de CO_2 é imprescindível. Esta depende de estômatos abertos, o que significa evaporação e perda de água. As plantas que vivem em climas secos são munidas de grande número de estômatos que funcionam muito bem, aproveitando, assim, todo momento propício, para dar entrada ao CO_2

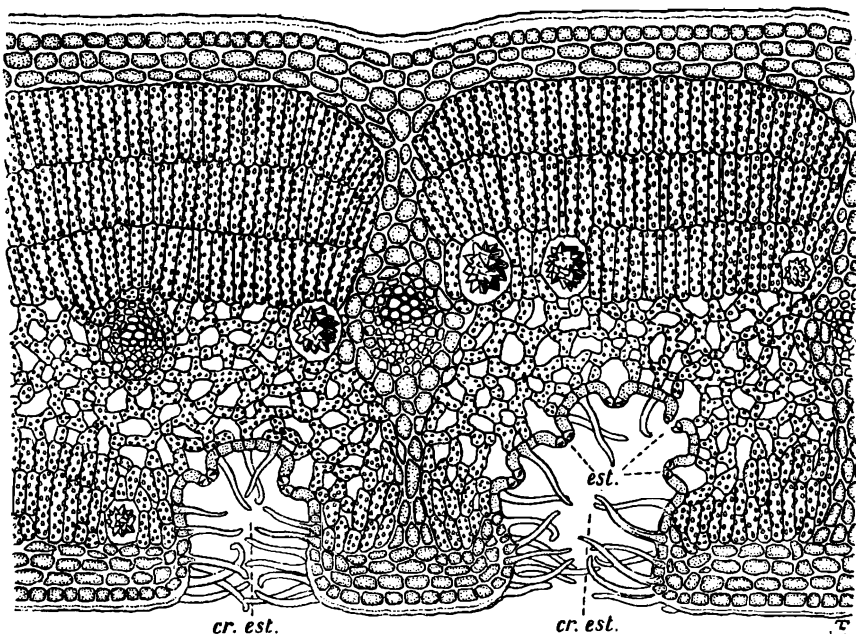



Fig. 27
Fôlha da «Espirradeira» (*Nerium Oleander*); corte transv. mostrando, de cima para baixo, cutícula, epiderme, hipoderme, três camadas palissádicas, feixe, parênquima lacunoso, duas criptas (*cr. est.*) com estômatos (*est.*) e pêlos, hipoderme, epiderme e cutícula, inferiores. Orig.

e fazer fotossíntese. O número de estômatos pode ser muito elevado — foram contados até 700 por milímetro quadrado — e a sua disposição e forma são tão propícias para a difusão de gases que, com estômatos abertos, a evaporação de uma fôlha pode atingir um valor não muito inferior ao de uma superfície livre de água, de tamanho igual, nas mesmas condições (Brown e Escombe). Como mostrou Stalfelt, em 1932, atinge até 65 % da evaporação livre.

As plantas de habitat húmido muitas vêzes têm estômatos menos sensíveis e nos lugares mais húmidos das montanhas costeiras do Brasil e de outras regiões tropicais e subtropicais, encontramos na sombra das florestas um grupo de fetos que podem dispensar estômatos e epiderme; as delicadas *Hymenophyllaceas*.

É natural que o fechamento dos estômatos nunca seja bem perfeito e que sempre deixe passar uma pequena quantidade de vapor d'água. Para diminuir essa perda existem diversas medidas de proteção. Assim, a própria fenda torna-se "fenda central", sendo isolada do ambiente por dois átrios, um interior e um exterior. Além disso, os estômatos podem ser mergulhados em covas especiais ou comuns a muitos estômatos, como nas fôlhas de *Nerium Oleander* (loureiro rosa ou espirradeira, fig. 27). Freqüentemente os estômatos se encontram só do lado inferior da fôlha que é mais protegido contra os raios solares e contra o vento. Às vêzes as fôlhas são enroladas abrigando na concavidade o lado inferior com os estômatos (fig. 28). Há fôlhas que, por higroscopia, na sêca, se podem dobrar ou enrolar, abrindo-se no tempo húmido (1).

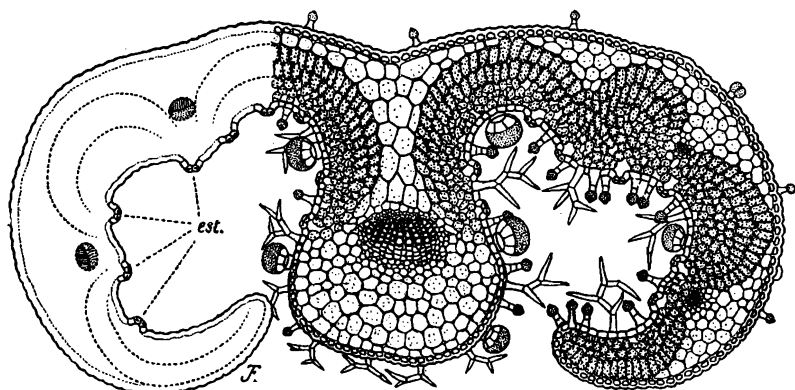



Fig. 28
Fôlha enrolada do « Alecrim do jardim » (*Rosmarinus officinalis*); corte transversal. As concavidades contêm pêlos, glândulas e estômatos (*est.*) Orig.

O melhor fechamento dos estômatos nunca pode levar a transpiração a zero, pois sempre há evasão de vapor d'água também pela cutícula. Distingue-se assim uma *transpiração cuticular*, irredutível, da *estomática* regulável.

A perda d'água pode ser medida simplesmente com uma balança sensível, na qual colocamos plantas inteiras ou partes delas. Pesando de minuto em minuto, constatamos uma perda do pêso que corresponde à água transpirada. Fôlhas frescas, recém-cortadas indicam, no comêço, a transpiração que apresentavam na própria planta. Com estômatos abertos sua transpiração pode ser grande, mas com o fechamento dos mesmos a transpiração desce até valores baixos, quase constantes, que são os da transpiração cuticular. O fechamento dos estômatos ocorre em fôlhas cortadas porque o corte interrompe a condução e, portanto, a substituição da água perdida. A rapidez do fechamento dos estômatos é demonstrada pelos valores que M. Rachid constatou em fôlhas de Copaíba (*Copaifera Langsdorffii* Desf.). Uma dessas fôlhas, cujo pêso

(1) P. e., o *Stenotaphrum americanum*, grama dos jardins, (fig. 104, pág. 122).

a fresco foi de 927 mg, pesada de minuto em minuto, mostrou os seguintes valores de perda de água (em mg/min):

17 15 13 5 2 2 0,5 0,5 0,4 0,4 0,4 0,4.

Em cada seis minutos esta fôlha fechou os estômatos quase por completo, mas a maioria das plantas não alcança tal rapidez e eficiência.

No comêço quando a transpiração alcançou 17 mg podemos concluir que, pelos estômatos, evaporaram 16,6 mg e o restante pela cutícula.

Xerófitas. — Plantas que possuem adaptações para sobreviver aos perigos da sêca, chamam-se *xerófitas* (1). Além da proteção dos estômatos e do seu funcionamento rápido, geralmente mostram cutícula

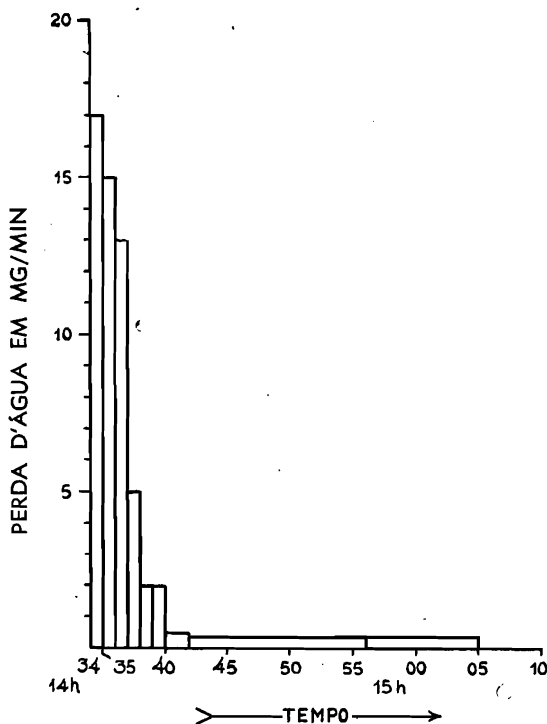



Fig. 29
Gráfico indicando a quantidade de água transpirada da fôlha cortada de *Copaifera* mencionada no texto. Seg. M. Rachid.

reforçada. Às vêzes as fôlhas formam sob a epiderme outra camada de células protetoras, a chamada *hipoderme,* que abriga poucos cloroplastos, e que serve de reservatório de água.

Um meio radical se traduz na *perda das fôlhas* que caem *no comêço da sêca.* Assim, a superfície que transpira é muito diminuída. Nos *climas frios,* a maioria das árvores perde as fôlhas no inverno, porque o perigo da sêca se apresenta nessa época, quando o solo fica frio e

(1) *Xerophytas,* do grego: *xeros* = sêco.

as raízes, por causa da sêca fisiológica (vide pág. 54) não são capazes de absorver muita água. A falta de fôlhas, periódica neste caso, pode tornar-se permanente em plantas do deserto ou de regiões que são sempre muito sêcas. Nesse caso são os caules que assumem a função fotossintética, tornando-se verdes. A diminuição da superfície é, portanto, outro meio protetor contra a evaporação; mas, as plantas assim aparelhadas não têm meio para intensificar a fotossíntese nas épocas favoráveis. Crescem e se desenvolvem muito devagar.

Outras plantas armazenam, nas épocas boas, muita água que serve de reserva. Assim, as fôlhas espêssas de muitas *plantas suculentas,* como as da Babosa (*Aloe vera*) e outras *Aloes,* são cheias de suco celular. As *Cactaceas* geralmente não têm fôlhas; seus resquícios existem só em forma de feixes de espinhos. São os caules que assumem a fotossíntese e que, no interior intumescido conservam muita água.

Tôdas essas propriedades das plantas xerófitas se manifestam na sua morfologia: chamamo-las, por isso, plantas *xeromorfas.* Além disso, há propriedades fisiológicas que não se vêem fàcilmente; são os valores osmóticos elevados dos vacúolos dessas plantas e ainda a capacidade de sobreviver à perda d'água e ao murchamento, capacidade essa inerente ao protoplasma de certas espécies xerófitas. Plantas com tais propriedades, às vêzes, pela sua morfologia, não indicam o xerofitismo.

Plantas adaptadas à vida em lugares húmidos chamam-se higrófitas (1). — Geralmente são caracterizadas por fôlhas delicadas e de grande superfície. Tais plantas, em geral, mostram valores osmóticos menores no seu suco celular. São muito sensíveis ao murchamento. Para muitas delas basta a perda de pequena percentagem do conteúdo normal de água, para morrerem. Higrófitas extremas são as *Hymenophyllaceae,* já mencionadas, que crescem na sombra das florestas das costas tropicais e nas regiões montanhosas onde geralmente as nuvens se condensam. Suas fôlhas possuem, entre as nervuras, uma só camada de células, sem epiderme.

Tropófitas (2) chamamos a certas plantas de regiões que têm alternância de estação, uma favorável e uma desfavorável. Na estação húmida vestem-se de fôlhas delicadas, higrofíticas, que perdem na época desfavorável, seja por causa do frio, seja por causa da sêca. São as árvores de fôlhas caducas ou decíduas, encontradas como veremos (pág. 262) nos climas temperados de inverno frio e em regiões cálidas com uma estação muito sêca.

Hidatódios. — Muitas plantas têm estômatos especiais, os *hidatódios* (3), através dos quais podem excretar líquido no caso de excesso. Encontram-se os hidatódios nos bordos de muitas fôlhas, em frente aos pontos onde terminam os feixes. Nas fôlhas de morango ou de chagas, em alta madrugada, as pontas e os dentes estão cobertos de gotículas não de sereno, mas excretadas pelos hidatódios.

Muitos botânicos consideram a transpiração muito útil e necessária

(1) *Hygrophyto* e *hygromorpho,* do grego: *hygros* = húmido.
(2) *Tropophytas* — do grego *trepo* = virar-se, voltar para trás, usado para plantas que mudam de atitude.
(3) *Hydatodios,* do grego: *hydor* = água; *odos* = caminho.

para a vida das plantas. A corrente de transpiração seria indispensável para a absorção dos sais minerais dissolvidos no solo, que sobem para as fôlhas e aí se condensam, devido à transpiração. Contudo, isso não foi ainda comprovado. As plantas que pouco transpiram não mostram deficiência em sais minerais e não sabemos se nas plantas aquáticas há grandes movimentos de seiva bruta. A transpiração é um fenômeno inevitável nas plantas terrestres, que devem manter passagem livre para a troca dos gases necessários, CO_2 e O_2. Tôda absorção dêsses gases numa atmosfera sêca deve ser paga em vapor d'água que passa para fora.

C. Condução da água

Já falamos das correntes osmóticas que transportam água das células absorventes para as que transpiram (vide fig. 19, pág. 52). São as diferenças entre as fôrças de sucção das células, que provocam o movimento. Tais correntes osmóticas são lentas e podem ser eficientes sòmente a distâncias de poucos centímetros. Plantas que conduzem água desta maneira são os musgos que, por isso, nunca podem exceder uma altura exígua. Colocados com a base num copo d'água, da qual emergem alguns centímetros, murcham se o ápice fôr exposto ao ar bastante sêco.

As plantas terrestres que alcançam altura maior devem, por isso, ser munidas de um sistema de canalização, onde a água não difunde, mas corre. Os canais são formados pelos vasos. O líquido que sobe das raízes chama-se *seiva ascendente* ou *bruta;* contém, dissolvidos na água, os sais minerais absorvidos do solo. Nas fôlhas e nas outras partes onde se dá a fotossíntese, forma-se a *seiva "elaborada"* que contém açúcares e também proteínas. Normalmente essa seiva é conduzida das fôlhas para baixo e chama-se, por isso, *seiva descendente.* Desce ou dirige-se dos lugares de formação para os de consumo, que são especialmente as raízes, os brotos novos, botões, flores, frutos, sementes e outros órgãos onde são armazenadas substâncias de reserva, ou para os meristemas onde se formam tecidos novos.

Fig. 30
Vasos lenhosos do caule de *Oenothera odorata;* corte long.: *c*, câmbio; *g*, vaso novo, ainda não diferenciado; *n*, s_2, s_1, *s*, *r*, vasos lenhosos com reforços: reticulado, espiralado, anelar; *h*, *p*, parênquima. Seg. Haberlandt.

A seiva bruta é conduzida pelos vasos lenhosos, a seiva elaborada passa pelos vasos crivados. Vasos crivados e lenhosos são as partes principais que compõem os feixes, como veremos pormenorizadamente, na anatomia dos vasos. Aqui interessa sòmente saber que os vasos lenhosos representam fileiras de células mortas, cujas membranas trans-

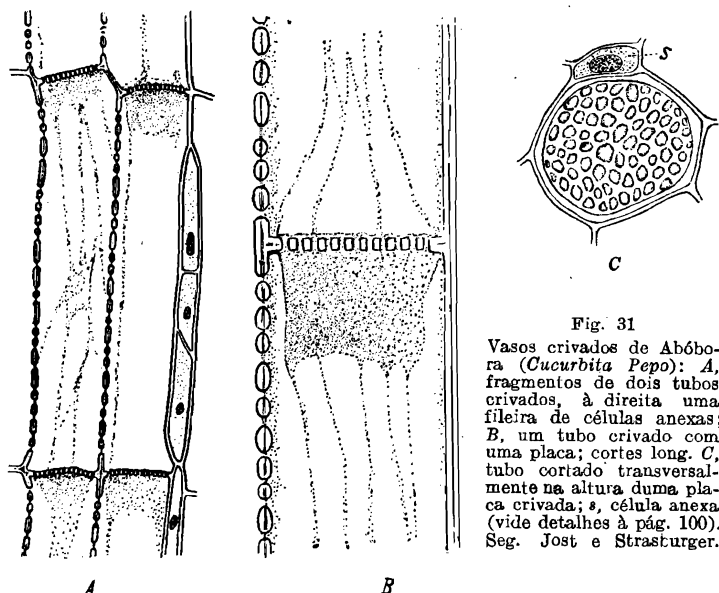



Fig. 31
Vasos crivados de Abóbora (*Cucurbita Pepo*): *A*, fragmentos de dois tubos crivados, à direita uma fileira de células anexas; *B*, um tubo crivado com uma placa; cortes long. *C*, tubo cortado transversalmente na altura duma placa crivada; *s*, célula anexa (vide detalhes à pág. 100). Seg. Jost e Strasburger.

versais geralmente são dissolvidas, resultando disso canais por onde a água pode correr quase sem interrupção. Os tubos crivados são fileiras de células, que ainda possuem protoplasma e cujos diafragmas transversais não são dissolvidos, mas sim perfurados e crivados como peneiras. Passemos, em 1.º lugar ao estudo da condução da

Seiva ascendente

O mecanismo de condução era duvidoso até os últimos tempos; hoje podemos considerá-lo esclarecido em suas linhas gerais.

Impulso da água pelas raízes. — É verdade que há um fenômeno cujo mecanismo ainda é algo problemático; trata-se do *impulso da água pelas raízes*. Contudo, êsse impulso pode faltar em muitas plantas que, entretanto, conduzem água sem prejuízo.

Cortando-se uma planta, podemos observar muitas vêzes a saída de água, do tronco, que evidentemente provém dos vasos lenhosos. (Na primavera êsse fenômeno se observa sempre na parreira). Colocando-se um tubo no corte, como mostra a fig. 32, podemos ver que se trata de grandes quantidades de suco, que sobem no tubo. Com um manômetro poderíamos mostrar que a água é excretada com certa fôrça, que aliás geralmente não ultrapassa uma atmosfera (1).

As causas dessa pressão não estão bastante esclarecidas. Poder-se-ia pensar que existem aqui as mesmas condições que na célula de Pfeffer, onde o líquido sobe no tubo por fôrças osmóticas. Os feixes que se encontram no cilindro central da raiz deveriam ser, neste caso, comparados

(1) Observações recentes de White mostraram valores mais elevados.

ao tubo (figs. 16 e 17). O suco celular do tecido da casca deveria penetrar nos vasos sem a resistência provocada pela semipermeabilidade das células adjacentes. A semipermeabilidade deveria, portanto, ser interrompida ou enfraquecida nas paredes que separam as células adjacentes dos vasos lenhosos. Indícios certos disso até hoje não foram constatados e assim fica, ainda, em suspenso a questão que se refere às causas capazes de provocar pressões positivas nos feixes das raízes. O mesmo é válido para outros casos em que as plantas excretam substâncias, sob pressão, como na produção do néctar pelas flores.

Contudo, o impulso da água pelas raízes não é de importância essencial para o problema da condução da água ascendente. Há árvores em cujas raízes nunca foi encontrada tal pressão positiva de água. Além disso, as pressões, quando constatadas, geralmente são inferiores a uma atmosfera, o que seria suficiente para elevar água apenas a 10 metros, ao passo que conhecemos árvores de 50 e até de mais de 100 metros de altura.

Fig. 32
Demonstração do impulso das raízes. Ao tronco cortado adaptou-se, por meio de uma borracha, o tubo de vidro *G*. A água excretada pode ser medida no tubo graduado *C*. Seg. Detmer.

Sucção exercida pelas fôlhas. — Quando a transpiração é grande e quando se trata de fortes correntes de água, as pressões nos troncos, geralmente, são negativas. Cortado, o tronco em vez de excretar, absorve água fortemente. Todos os vasos mostram, então, pressão negativa, estando sob a influência de uma sucção exercida pelas fôlhas da copa.

As fôrças de sucção das células das fôlhas podem alcançar valores grandes. Valores de 20, até de 40 atmosferas não são excepcionais e podem mesmo ser ultrapassados. Uma célula cuja fôrça de sucção (*Sc*) é de 3 atmosferas poderia (teòricamente e se não fôsse a resistência pelo atrito), elevar uma coluna de água, a 30 metros de altura.

Assim, as fôrças osmóticas das células folheares são amplamente suficientes para manter tais correntes de água. Contudo, surge a seguinte questão: a experiência dos poços e bombas mostra que, pela fôrça de sucção, podemos elevar água à altura de 10 m. As fôrças de sucção, por maiores que sejam, não podem elevar a água a uma altura maior; a coluna d'água quebrar-se-ia formando-se o vácuo, conhecido como *vácuo de Torricelli.* A altura da coluna d'água não depende da fôrça de sucção exercida de cima, mas, sim, da pressão da atmosfera que empurra a água de baixo para cima. O nível do vácuo

de Torricelli indica assim, como sabemos, a pressão atmosférica; o barômetro de mercúrio é uma aplicação desta lei.

A dificuldade com a qual a botânica se chocou, foi justamente a que acabamos de indicar. Supôs-se que nos vasos das plantas se deveria formar o mesmo vácuo de Torricelli, quebrando a coesão das colunas de água e impedindo que fôrças de sucções maiores que 1 atmosfera tivessem efeito. Hoje sabemos que essa dificuldade não existe, pelo menos com a água ou líquidos puros e bem filtrados, como os que enchem os vasos das plantas. Para provocar aqui uma ruptura na coluna d'água, para vencer a coesão que existe entre as moléculas, são necessárias grandes fôrças. Os físicos sabem que água bem pura, sem corpúsculos que possam servir de centros de formação de bôlhas de gás, de vapor d'água, etc., só perde a coesão sob uma fôrça de sucção de mais de 1 000 atmosferas.

As condições que existem na planta, não podem, portanto, ser comparadas com as que existem numa bomba. Nesta última os canais têm diâmetro grande; a água que conduzem é impura e contém sempre núcleos onde se podem formar bôlhas de vapor. A adesão da água às paredes dos tubos não é grande. Assim, quando a altura da coluna d'água ultrapassa 10 m, a coesão e a adesão podem fàcilmente ser vencidas formando-se o vácuo de Torricelli. Na verdade, tal vácuo não se mantém; dominada ou diminuída a pressão atmosférica, uma determinada quantidade de água se evapora.

Nas células vegetais podemos medir as fôrças necessárias para vencer a coesão da água. O modêlo clássico é o *anel dos esporângios de Filicíneas,* anel êsse que constitui o mecanismo de abertura dêsses órgãos e que funciona por causa da coesão da água contida em suas células (fig. 33). As células do anel são mortas, cheias de suco, possuem membranas laterais e interiores com fortes espessamentos. A membrana exterior fica sem refôrço. Quando os esporângios estão maduros e quando cessa a condução da água para o anel, as células dêste perdem água por evaporação e murcham. Pela saída d'água se dá uma deformação. Perdendo em volume, as células podem contrair sòmente a membrana exterior, delicada; as outras membranas resistem à diminuição. Resulta daí a tendência do anel de tornar côncavo o lado normalmente convexo. O anel só pode obedecer a essa tendência, depois de romper-se a parede do esporângio. Isso se dá num lugar predeterminado, o chamado *"estômio"*, onde as células absolutamente não são reforçadas. Agora, o anel toma a forma indicada na fig. 33, *3*.

É interessante notar que durante todos êsses processos, a coesão da água nas células do anel não é interrompida. Exercem-se grandes fôrças, que deformam as células da maneira indicada. Essas fôrças devem deformar muito as paredes laterais do anel, antes de poderem romper a coesão da água. Chega, contudo, um momento em que as partículas de água não podem mais manter sua coesão; afastam-se como se a água se fendesse. Nesse momento, formar-se-ia, no interior da célula, um vácuo que é, todavia, substituído por uma bôlha formada de vapor d'água. Agora, as membranas podem retornar ao estado an-

terior e à forma normal. Todo o anel volta, então, à posição primitiva. (Aliás isso se faz bruscamente e a violência do movimento serve para expelir os esporos).

Podemos produzir tais movimentos, *experimentalmente,* colocando um esporângio intato em glicerina bem concentrada. A membrana das células é quase impermeável para a glicerina. Assim como na experiência da plasmólise, as células perdem água e contraem-se como se fôssem expostas à evaporação forte num dia sêco. Podemos, pois, observar na glicerina a abertura dos esporângios e a deformação do anel, que se torna côncavo. Se a glicerina fôr bastante concentrada, podemos

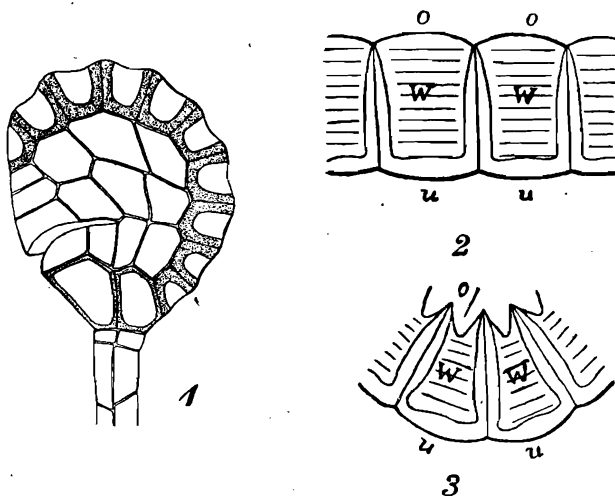



Fig. 33

Mecanismo de abertura do esporângio de uma *Filicinea: 1,* Esporângio aberto de *Dipteris conjugata; 2, 3,* células do anel, saturadas e depois de perda d'água; *o,* membrana delicada, exterior; *u,* membrana reforçada, interior; *w,* líquido enchendo as células. Seg. Smith e Noll.

ver também a segunda parte do fenômeno: a coesão da água é vencida, observa-se a volta repentina do anel à forma normal e, ao mesmo tempo, aparecem as bôlhas de vapor. Podemos medir a concentração necessária da glicerina. É preciso que seja tão concentrada que exerça *uma fôrça de sucção de mais de 300 atmosferas;* só assim, poderá vencer a coesão da água nestas células.

Fica, dêsse modo, demonstrado que as fôrças de coesão da água no interior das células são muito elevadas e que as células podem ser muito deformadas antes de romper-se essa coesão. Naturalmente, não se trata só da coesão, mas também da *adesão às paredes* que, especialmente nas células lignificadas, parece ser bastante grande.

Devemos supor as mesmas condições nos vasos lenhosos. Também nêles a água pode estar sob grande tensão, sem se romperem as colunas. Sob essa tensão, as paredes dos vasos também podem ser deformadas, retraindo-se e tornando-se côncavas. Árvores expostas a grande trans-

piração, cujos vasos todos se contraem, mostram efetivamente uma diminuição mensurável do diâmetro.

O mecanismo do levantamento da água pela sucção das células vivas fica, assim, esclarecido em seus princípios. Para apresentá-lo esquemàticamente (fig. 34) voltamos de novo à *célula de Pfeffer,* explicada na pág. 48. Sòmente modificamos agora o aparelho, limitando a camada semipermeável ao lado inferior do vaso, onde é posta em contato com a água. Seja essa água conduzida por um tubo inferior (*a*). Se a solução contida na célula de Pfeffer tem certo valor osmótico, por exemplo de duas atmosferas, pode puxar a água do tubo inferior com essa fôrça, quer dizer, manter em equilíbrio, no tubo inferior, uma coluna d'água de 20 metros de altura. Se o tubo inferior tiver apenas 10 metros de comprimento êsses 10 metros de água mantêm em equilíbrio uma das duas atmosferas com que a solução atrai a água. Com a fôrça da outra atmosfera, a célula pode fazer subir água no tubo superior até a altura de 10 metros.

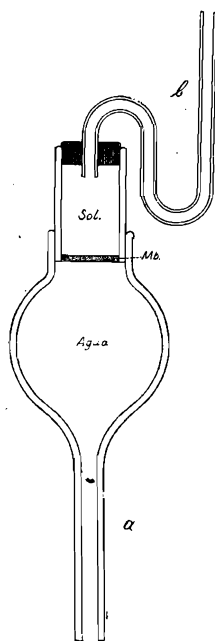



Fig. 34
Esquema, mostrando como uma célula contendo solução osmótica (*Sol.*) pode ao mesmo tempo, elevar água por sucção até si, e exercer ainda impulso para cima. No tubo *a* existe pressão negativa, no tubo *b*, positiva; *Mb.*, membrana semipermeável. Orig.

Uma solução do valor de 10 atmosferas, na célula de Pfeffer, pode elevar no tubo inferior, uma coluna de água a 100 metros. Se a célula perde água, talvez por evaporação, pode substituí-la, puxando-a do tubo inferior e mantendo assim uma corrente d'água. Essa corrente, podemos compará-la à existente nos vasos lenhosos, estando a célula de Pfeffer na situação das células das fôlhas.

O mecanismo da condução da seiva bruta parece, pois, reduzido simplesmente a fenômenos físicos. Mas, como nos fenômenos de absorção d'água e da evaporação, não se trata de fenômenos puramente físicos; interfere a vida, tornando-os processos fisiológicos.

É verdade que a corrente de seiva ascendente pode ser mantida durante algum tempo, através de tecidos mortos. Foi Strasburger quem o demonstrou, por meio de uma experiência clássica. Cortou um carvalho de mais de 20 metros de altura e mergulhou a base em ácido pícrico, tóxico muito forte. Já no quarto dia o ácido pícrico tinha subido à altura de 15 metros, tendo matado tôdas as células no seu percurso. Em seguida, acrescentou ao líquido em que mergulhava a árvore, uma solução vermelha de fucsina. Também a fucsina subiu e finalmente as fôlhas da copa, já mortas, foram coradas pela fucsina.

Se foi demonstrada, assim, a possibilidade da condução da água por tecidos mortos, portanto só por meios físicos, sabemos, entretanto, que sem a colaboração de células vivas, a condução não pode perdurar por muito tempo. Os vasos condutores sempre são acompanhados por

células vivas, parenquimatosas, necessárias à manutenção da condução da água. Ainda não podemos definir em que consiste sua colaboração. Podemos, porém, adivinhar uma de suas funções: vasos sem água, ou que contêm bôlhas de vapor, podem ser enchidos novamente pela secreção ativa das células vivas. É a mesma atividade que observamos em raízes e troncos, na produção do "impulso da água pelas raízes". Parece que sem essa atividade, cedo ou tarde, a coesão da água seria interrompida na maioria dos vasos. (As tão citadas experiências de Bose, que pretendem a colaboração de células em pulsação, parecem sem fundamento).

Seiva elaborada

Uma parte da seiva bruta é empregada na formação da seiva elaborada, que contém os carboidratos formados por fotossíntese. Formam-se, também, nas fôlhas, substâncias protéicas, combinando-se os carboidratos da fotossíntese com o nitrogênio contido na seiva bruta.

A seiva elaborada que assim se origina, deve ser conduzida para os lugares de consumo. Êstes são os órgãos que não podem se nutrir por si mesmos, como raízes, flores, brotos novos e as partes em que se armazenam substâncias de reserva como frutos, sementes, tubérculos, etc. Para tôdas essas partes aflui a corrente da seiva elaborada que, muitas vêzes, vai da copa das árvores para baixo e por isso se chama seiva descendente. É claro que devem existir canais especiais para essa condução.

Para encontrar as vias de condução das plantas, foram feitas muitas experiências, desde o início da época da anatomia e da morfologia modernas. São famosas as experiências de Malpighi, Hales, Du Hamel e outros, que tiraram anéis de cortiça das árvores, interrompendo, assim, uma passagem de substâncias de cima para baixo, que eventualmente se daria pela casca. Nesse caso, em que o cilindro lenhoso da árvore permanece intato, a condução da seiva bruta continua e a copa não mostra emurchecimento. A seiva descendente, porém, pára no corte, as raízes já não são alimentadas e depois de algum tempo morrem. Acima do corte a casca intumesce, acumulando-se aí a seiva elaborada que não pode passar. *A seiva bruta passa pelo lenho, a seiva elaborada pela casca.* Os caminhos prováveis da seiva descendente são os tubos crivados que se encontram na parte liberiana ou no floema dos feixes; é essa parte dos feixes que constitui o elemento essencial da casca na maioria das árvores (vide pág. 110).

O mecanismo dessa condução até hoje não foi esclarecido. Os autores muitas vêzes se contentaram com a idéia de uma *difusão* de substâncias através dos vasos crivados. A difusão, porém, é um processo muito lento, e como Muench calculou, seriam necessários 250 anos para vencer, na árvore, uma distância de 10 metros. Os tubos crivados geralmente mostram pressões positivas no seu conteúdo. Cortados ou feridos expelem o seu suco, mas a saída cessa logo quer por causa da compressão exercida pelos tecidos adjacentes, quer por obturação pelas

caloses descritas à pág. 64. Como se originam essas pressões e como se transformam em correntes, ainda é problemático. Falta mesmo, até hoje, a prova direta e absoluta de que o transporte se faz realmente no interior dos tubos crivados.

Em relação aos vasos lenhosos, foi fácil demonstrar que a seiva bruta corre no seu interior. Para isso se empregam, desde Magnol (1709), corantes que se fazem subir nos ramos cortados. A substância corante indica nìtidamente o caminho, como já vimos na experiência de Strasburger.

A seiva elaborada só é posta em movimento quando parte de células vivas que lhe dão o impulso. Assim, torna-se difícil corá-la ou marcá-la artificialmente, sem perturbar o movimento. Recentemente foram feitas experiências indiretas de grande valor convincente. Fizeram-se análises químicas, ao longo dos caminhos de passagem, das substâncias que são conduzidas. Por êsse meio e por meio de operações que só deixam intatos alguns tubos crivados, Mason e Maskell e Schumacher puderam evidenciar o papel dos tubos crivados.

Um indício muito interessante que evidencia também que a condução da seiva se faz nos próprios tubos crivados é o comportamento dos pulgões de plantas ou *afídios*. Êsses animais parasitam plantas onde podem passar tôda a vida numa só fôlha, tirando dela a sua alimentação. Muitas vêzes os brotos novos de plantas estão literalmente cobertos de um sem número de pulgões. Às vêzes, quando o brôto parasitado é adulto, com tecido duro, já inacessível às picadas do afídio, vemos emigrar todos os pulgões numa só noite em busca de outro brôto e, freqüentemente, a *"troca de hospedeiros"* é um costume regular de afídios que vivem em climas onde periòdicamente desabrocham, uma após outra, as diversas espécies de plantas. É surpreendente a observação de um brôto deixado pelos parasitas, pois não mostra sinal algum de lesão. Tôdas as células parecem vivas, verdes e inalteradas. O que comeram, então, os afídios? Se não atacam as próprias células do parênquima, devem ter sugado nos canais condutores da seiva elaborada.

Essa idéia parece provável, também devido ao seguinte fenômeno: os afídios muitas vêzes secretam um líquido açucarado que pode ser aproveitado por formigas (que muitas vêzes domesticam certos afídios para êsse fim). Outros afídios que não vivem em simbiose com formigas, atiram fora a seiva açucarada para não sujar a colônia, que logo ficaria embolorada. Êsse desperdício — a "chuva de mel" — constituiu, durante muito tempo, um problema para os biologistas. Hoje em dia, como mostrou, entre outros, o autor, a explicação é a seguinte: os afídios realmente procuram os tubos crivados, de onde tiram a própria seiva elaborada, que contém muito açúcar e relativamente poucas substâncias protéicas. Para se abastecerem de proteínas, são, pois, obrigados a retirar mais açúcar do que necessitam. É o excesso que deixam para outros. Assim, as picadas dos afídios servem para mostrar o caminho da seiva elaborada.

Mecanismo da condução. — O mecanismo da condução da seiva elaborada constitui um tema hoje muito discutido. Como já dissemos, ao contrário dos vasos lenhosos, os vasos crivados sempre estão sob uma pressão positiva. Feridos, expelem a seiva. Os vasos crivados não são células mortas. Possuem uma camada citoplásmica semipermeável. Uma teoria interessante, mas muito discutida é a de Muench. Êste Autor supõe que as células parenquimatosas, que elaboram a seiva e os tubos crivados estão em comunicação livre, pelas pontuações que ligam as células entre si (vide pág. 97). Como essas células, no estado turgescente, têm uma certa pressão positiva, expelem a seiva para os tubos

crivados. (O suco contido neste sistema, comportar-se-ia como o contido no tubo superior da fig. 34, pág. 68). Os vasos crivados conduzem o líquido para as regiões de consumo, onde as substâncias dissolvidas desaparecem, quer por respiração, quer por transformação em compostos insolúveis, como celulose, amido, ou o próprio protoplasma. Dêsse modo, no ponto terminal, o conteúdo dos tubos perderia seu valor osmótico, deixando sair a água restante para as células adjacentes. A hipótese parece bem plausível. Entretanto, foi levantada, entre outras, uma objeção séria. A seiva elaborada não poderia ser conduzida se partisse de células murchas, sem pressão positiva. Isto porém parece que se dá, especialmente em flores cujas corolas murcham depois da floração e das quais ainda são retiradas grandes quantidades de substâncias para o exterior. Assim, o problema continua ainda sem solução.

5. ABSORÇÃO DOS SAIS MINERAIS

O problema da absorção dos sais minerais está em íntima ligação com o da absorção da água. Os sais minerais existem dissolvidos na solução do solo e entram nas células das raízes pelo mesmo caminho que a água absorvida. Como já dissemos, as plantas têm uma certa capacidade de escolher as substâncias que deixam entrar: o protoplasma não é perfeitamente impermeável para as substâncias, regulando fisiològicamente a passagem destas.

A entrada e a passagem de substâncias através das camadas protoplásmicas constitui um dos problemas mais estudados na fisiologia contemporânea. As substâncias narcóticas, ao que parece, sempre impõem sua passagem, sendo solúveis nos lipóides que compõem, sem dúvida, uma parte da superfície da camada citoplásmica. Quanto aos sais minerais, as leis que regem sua passagem, são tão discutidas que aqui só podemos chamar a atenção para o problema. O que nos interessa neste conjunto é o fato de que o protoplasma parece dotado de capacidade de modificar seu comportamento, deixando entrar, em certas condições, sais que, em outras, ficam excluídos (*capacidade seletiva do protoplasma*).

Os elementos necessários para a manutenção da vida, são — além dos que estão contidos no ar ou na água (C, H, O), — os seguintes:

K — Potássio	S — Enxôfre
Ca — Cálcio	P — Fósforo
Mg — Magnésio	N — Nitrogênio
Fe — Ferro	

Já mencionamos na pág. 28, o papel dessas substâncias no metabolismo construtivo da planta.

O conhecimento dos sais necessários para a cultura de plantas é de grande importância prática, sendo estudado, de um lado, pela fisiologia vegetal, de outro, pela ciência do solo.

A fisiologia serve-se de meios artificiais, sintéticos, para o estudo, empregando como substrato, ou uma areia limpa e bem lavada, à qual se acrescentam soluções de vários sais, ou soluções aquosas nutritivas (fig. 35). O último método é mais simples, mas neste caso as raízes das plantas têm que crescer em líquidos, o que não convém a todos os vegetais. Para dar uma idéia da composição de tal meio artificial de cultura, citamos a solução de Von der Crone.

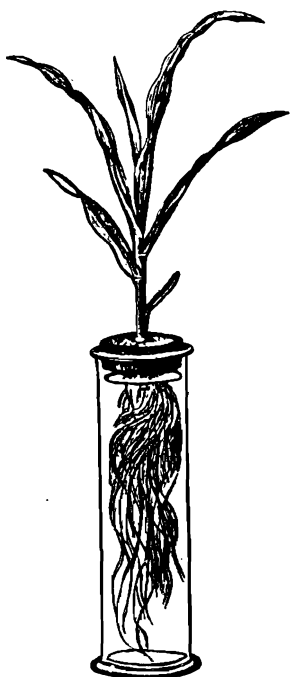



Fig. 35
Milho (*Zea Mays*) em solução de cultura. Seg. Detmer.

Sol. de cultura (Von der Crone)

H_2O destilada	1.000 cm^3
KNO_3 (Nitrato de potássio)	0,25 g
$CaSO_4$ (Sulfato de cálcio)	0,5 g
$MgSO_4$ (Sulfato de magnésio)	0,5 g
$Ca_3(PO_4)_2$ (Fosfato de cálcio)	0,25 g
$Fe_3(PO_4)_2$ (Fosfato de ferro)	0,25 g

Tal solução sempre contém pequenos traços de boro, manganês, zinco e outras substâncias que, em mínimas quantidades também são necessárias para a manutenção da vida (vide pág. 28) e que só podem ser excluídas com muita cautela.

Se queimarmos uma planta, resta a cinza contendo a parte mineral que compõe a substância vegetal.

Para nos orientarmos quanto às relações quantitativas, podemos pesar uma porção de fôlhas e brotos no estado vivo. Isso nos dá o "pêso a fresco" que contém ainda tôda a água do vegetal. Secado a 100° centígrados, evapora a água, ficando ainda tôdas as substâncias orgânicas ("pêso a sêco"). Incinerando-se a substância sêca, queimam-se os componentes orgânicos, restam os minerais em forma de óxidos, a cinza. Uma experiência que realizamos com alface deu o seguinte resultado:

pêso a fresco	63	g
pêso a sêco	3,6	"
cinza	0,584	"

O pêso a sêco é 5,7 % do pêso a fresco; os restantes 94,3 % da alface são água pura. A cinza perfaz um total de 16,2 % da substância sêca e 0,93 % do pêso a fresco.

Ainda que a percentagem da substância mineral seja mínima, as plantas não podem desenvolver-se sem cada um dos componentes acima mencionados.

Cultivando-se algumas plantas em soluções nutritivas completas, ao passo que outras ficam sem um dos componentes indicados, vê-se

grande diferença de desenvolvimento. As primeiras podem completar o seu desenvolvimento formando flores e frutos. As segundas geralmente crescem só até esgotarem o material de reserva contido nas sementes.

Geralmente, tôdas essas substâncias se encontram num solo normal, o que é comprovado pelo desenvolvimento exuberante da vegetação das matas. A decomposição das rochas fornece ao solo essas substâncias e as plantas que as absorvem devolvem-nas ao solo, quando morrem. Nos campos cultivados, a coisa toma outro aspecto, porque, pela colheita, sempre retiramos uma parte das substâncias minerais. O mesmo se dá por derrubadas repetidas das matas. Nesse caso, pode acontecer que o solo se torne pobre em substâncias que não são fàcilmente substituídas pela decomposição natural. A deficiência geralmente se relaciona com o K, o P e o N. Assim, o cultivador deve substituir êsses elementos por *adubação*. Os *adubos naturais* (estêrco, guano, sangue, farinha de ossos) geralmente contêm nitrogênio em forma orgânica de nitrato ou de amônio, fosfatos e sais de potássio. Os *adubos artificiais* ou sintéticos mais usados são:

Nitrogênio

Nitrato de potássio KNO_3
Nitrato de sódio $NaNO_3$ (o salitre do Chile)
Cal nitrogenada $Ca(CN)_2$
Nitrato de amônio NH_4NO_3, muitas vêzes misturado com carbonato de cálcio $CaCO_3$
Sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$
Uréia $CO(NH_2)_2$

Fósforo

Escória de Thomas $Ca_3(PO_4)_2$, ainda contendo cal (CaO)
Superfosfato $Ca(H_2PO_4)_2$

Potássio

Carnalita $KCl.MgCl_2.6H_2O$
Cainita $KCl.MgSO_4.3H_2O$

Quando e como os adubos devem ser usados isso forma um assunto importantíssimo na agronomia.

Nos climas húmidos, como o de São Paulo, sempre se deve contar com uma forte perda das substâncias acrescentadas, por causa das chuvas que as dissolvem e as conduzem para os rios.

Papel do Cálcio. — O carbonato de cálcio desempenha um papel especial no solo, representando um adubo muito empregado. O cálcio, porém, geralmente existe no solo (até no mais pobre) nas quantidades que a planta necessita para o próprio metabolismo. Se acrescentamos cálcio, é para melhorar as qualidades físicas e químicas do solo.

As terras constantemente correm o perigo de tornar-se ácidas, o que é prejudicial para o desenvolvimento dos micróbios do solo, do "edafon" (vide pág. 34), cuja importância para a decomposição do humo já mencionamos na pág. 45. Quanto à fixação do nitrogênio, veremos logo que também as bactérias fixadoras dependem de uma reação neutra ou pouco ácida do solo. As próprias plantas superiores podem ser sensíveis à reação do solo.

Desde muito eram conhecidas plantas que exigem grande proporção de cal no solo, as plantas "*calcífilas*" e outras espécies, que não o toleram, as "*calcífugas*"; uma terceira categoria de plantas são as *indiferentes*. Hoje sabemos que aqui não se trata do próprio cálcio, mas da *reação do solo*, que depende da presença do seu carbonato que neutraliza os ácidos do solo. Atualmente, já não mais falamos em plantas *calcífilas*, mas em *basófilas*, nem em *calcífugas*, mas em *acidófilas*.

O perigo de o solo tornar-se ácido existe especialmente nas regiões húmidas (como as de São Paulo), porque as chuvas lavam a terra e carregam os sais que poderiam neutralizar os ácidos provenientes da decomposição do humus (ácidos húmicos). Os sais mais importantes, neste sentido, são os carbonatos de cálcio, que desta maneira são retirados do solo. A utilidade da adubação de cálcio consiste em acrescentar à terra um sal que lhe dá uma reação menos ácida ou neutra. Além disso, o cálcio no solo contribui para o afofamento da terra, dando-lhe uma estrutura granulosa, farelosa.

Aliás, as plantas não dependem exclusivamente das substâncias dissolvidas na solução do solo. Os pêlos absorventes que, às vêzes, estão em ligação íntima com as partículas do solo (vide pág. 53) podem exercer uma influência dissolvente. Por exemplo, pode se demonstrar muito bem, a atividade corrosiva das raízes sôbre placas de pedra calcária e de mármore, onde produzem sulcos; os carbonatos se dissolvem sob a ação do ácido carbônico produzido pela respiração. No entanto, há plantas que atacam substâncias, como quartzo e silicatos, de uma maneira ainda pouco compreensível, como certos liquens que habitam e corroem a superfície de rochas silicosas.

— ***Ciclo do Nitrogênio.*** — Importância especial tem o nitrogênio que, de início, não existe nas camadas minerais da terra. Pelas descargas elétricas se originam sempre, na atmosfera, traços de nitratos, nitritos e sais amoniacais que, precipitados pelas chuvas, são arrastados para a terra. Trata-se aqui de quantidades muito pequenas que, nos climas temperados, não ultrapassariam 1 kg por hectare. Nos trópicos, com trovoadas freqüentes e fortes, pode-se contar com quantidades muito maiores, como foi verificado já por Boussingault em 1861.

Em todo o caso, as quantidades de nitrogênio, assim fornecidas, são pequenas em relação ao consumo da vegetação: as quantidades de nitrogênio que retiramos anualmente pelas colheitas são avaliadas, nos climas temperados, por alto, em valores de cêrca de 50 kg por hectare.

O crescimento das plantas cessa, como já vimos, se faltar um só componente vital no solo. Se êste fator não faltar completamente, o crescimento das plantas depende da proporção em que êle existe no

solo. Tal fator em deficiência chama-se "*fator em mínimo*" em relação aos outros componentes ou fatôres do ambiente. Muitas vêzes, o fator em mínimo é o nitrogênio e o rendimento da vegetação, depende em grande escala, das reservas de nitrogênio no solo. Assim, é muito importante que as substâncias azotadas contidas nos restos orgânicos das plantas voltem para o solo, pela decomposição. Pela atividade dos micróbios são transformadas novamente em nitratos e sais amoniacais, mas durante êsse trabalho, uma parte do nitrogênio sempre escapa novamente, em forma de gases, para a atmosfera.

O solo estaria, pois, condenado a empobrecer cada vez mais em substâncias azotadas, se não houvesse contìnuamente uma substituição do nitrogênio perdido.

A maior fonte de nitrogênio devemos considerar como sendo a atividade das *bactérias que fixam o nitrogênio do ar,* empregando-o para formar as substâncias protéicas dos seus organismos. Já se sabe, há muito tempo, que no solo pode haver um aumento de substâncias nítricas. Foi Berthelot que em 1892 constatou que a fixação do N deve ser atribuída à atividade de organismos vivos, porque cessa num solo que foi aquecido a 100º C. Winogradsky, porém, foi o primeiro a isolar tais bactérias, como o *Clostridium Pasteurianum,* que só vive em condições anaeróbicas. Hoje, conhecemos várias bactérias que fixam o nitrogênio livre; a mais importante parece ser o aeróbio *Azotobacter croococcum,* descoberto por Beijerinck (1901). Em solos onde as condições de vida são boas para tais bactérias, pode haver tal acréscimo de substâncias azotadas, que os adubos artificiais podem ser dispensados. Em solos ácidos essas bactérias fixadoras geralmente não crescem ou não desenvolvem sua atividade.

Bactérias e fungos em simbiose* (1) *com plantas autótrofas. — As bactérias fixadoras, acima mencionadas, vivem livremente no solo; outras iniciaram uma simbiose com plantas superiores que as hospedam nas raízes. As raízes das *Leguminosas* quase sempre formam pequenos tubérculos ou nodosidades, nas quais estão contidas bactérias do grupo *Bacterium radicicola.* Essas bactérias que vivem no interior das células da raiz fixam o nitrogênio do ar, cujas combinações orgânicas são aproveitadas pela *Leguminosa* que finalmente digere as bactérias. É de se supor que antes de serem digeridas, as bactérias encontrem, no interior das raízes, ótimas condições para sua atividade. Além das *Leguminosas* há outras plantas superiores que também possuem bactérias fixadoras do nitrogênio. Tôdas essas plantas podem viver em solos pobres ou sem nitrogênio combinado, e onde as condições para a atividade do *Azotobacter* e outras bactérias livres não são boas. São, portanto, de grande valor para o melhoramento do solo. Semeadas entre outras plantas úteis, podem ceder-lhes uma parte do seu nitrogênio, que se espalha pelas raízes para a solução do solo. Na Agricultura, as *Leguminosas* muitas vêzes são empregadas como "*adubo verde*"; enterradas no próprio lugar de crescimento, fornecem, pela decomposição, um adubo rico em nitro-

(1) *Symbiose*, do grego: *sym* = com; *bios* = vida; convívio.

gênio e substâncias orgânicas. Também nas pastagens, as *Leguminosas* fornecem ótima forragem aos animais.

A *adubação verde* é recomendada especialmente para as condições tropicais e subtropicais, onde os adubos artificiais correm o risco de ser lavados pelas chuvas torrenciais. O adubo verde decompõe-se vagarosamente, formando, além disso, uma camada protetora do solo.

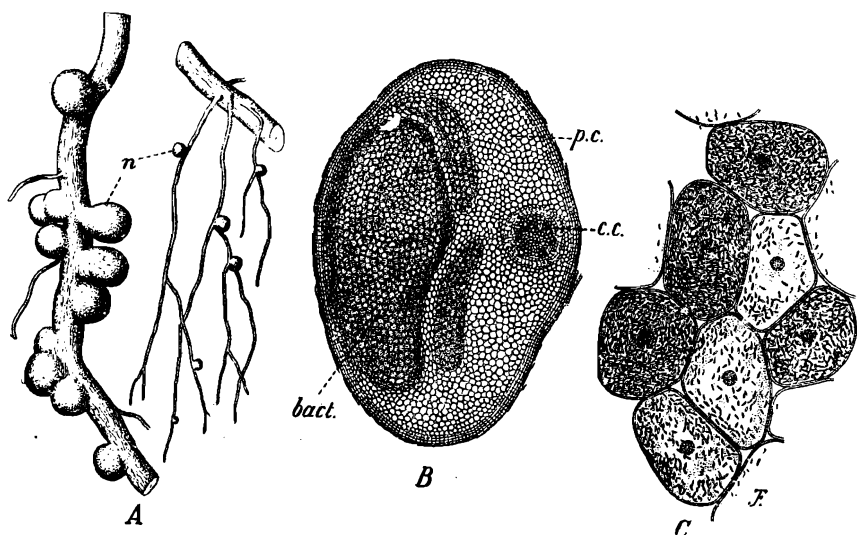



Fig. 36

Nodosidades das raízes da *Leguminosa Arachis hypogaea* (Amendoim): *A*, raiz, mostrando em tamanho normal e aumentado, as nodosidades (*n*); *B*, corte transv. da raiz, passando por uma nodosidade; *bact.*, tecido com bactérias; *p.c.*, parênquima da casca; *c.c.*, cilindro central, contendo os feixes; *C*, células do tecido com bactérias, em grande aumento. Orig.

Outra simbiose entre raízes e micro-organismos do solo, desta vez fungos, é a chamada *micorriza* (1), muito freqüente no reino vegetal, especialmente entre as orquídeas e a maioria das árvores florestais. Como veremos adiante (pág. 87) o talo dos fungos compõe-se de células filiformes, ramificadas, geralmente incolores, as chamadas hifas. Nas raízes as hifas dos fungos vivem no interior das células parenquimatosas: "*micorriza endótrofa*" ou envolvem exteriormente a rais, penetrando só nos espaços intercelulares: "*micorriza exótrofa*". Parece que, nestes casos, os fungos não fixam o nitrogênio livre do ar, mas decompõem substâncias orgânicas que são de difícil acesso às raízes das plantas superiores, fornecendo-lhes N em forma aproveitável. Esta *simbiose* se desenvolve especialmente em solos ácidos onde geralmente o humus se decompõe vagarosamente, sendo entravada a atividade das bactérias.

Liquens (2). — Às simbioses mencionadas devemos ainda acrescentar o caso especial dos Liquens, sempre citado como o melhor exemplo

(1) *Mycorrhiza*, do grego: *mycos* = fungo; *rhiza* = raiz.
(2) *Lichenes*, no grego de *Theophrast: leichen*, no latim de *Plinius: lichen*.

de simbiose. O aspecto de um líquen nada trai quanto à sua dupla composição, descoberta pelo botânico suíço Schwendener (1860), descoberta essa definitivamente comprovada pela possibilidade de cultivar separadamente algas e cogumelos oriundos de um líquen. Se forem unidos formam os talos típicos dos liquens (fig. 37). Só em união com a alga, o fungo produz uma casca superior (*or*) e uma inferior (*ur*),

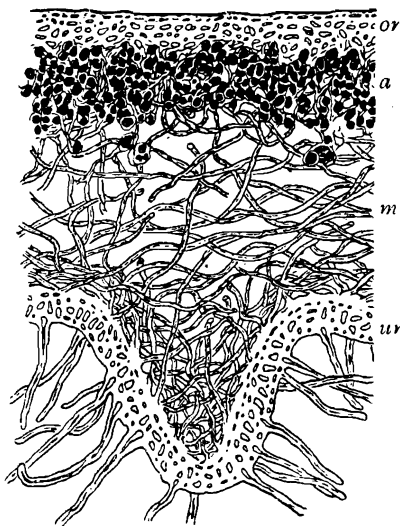
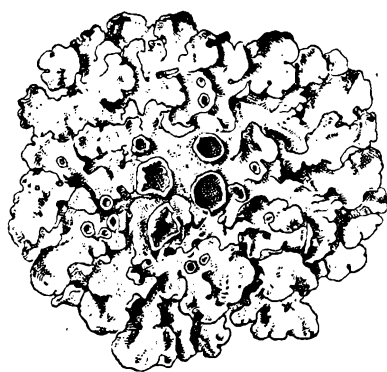



Fig. 37
Vista geral do líquen *Parmelia acetabulum*, epífita da casca de árvores (tamanho natural) e corte transv. do talo do líquen *Lobaria pulmonaria* (aument. 200); *or*, casca superior; *ur*, casca inferior; *a*, camada de algas (as algas em prêto): *m*, medula lacunosa. Seg. Reinke e Weise ap. Strasburger, Lehrbuch.

munida de hifas-rizóides. No interior, as hifas formam um tecido lacunoso que abriga as algas, cuja posição pode ser comparada com a do parênquima assimilador de uma fôlha. As hifas entram em contato íntimo com as algas, envolvendo-as ou nelas penetrando, em espécies determinadas, por meio de pequenos haustórios.

A função das algas é a fotossíntese; a contribuição do fungo é o fornecimento de água e de todos os sais minerais.

Capítulo III

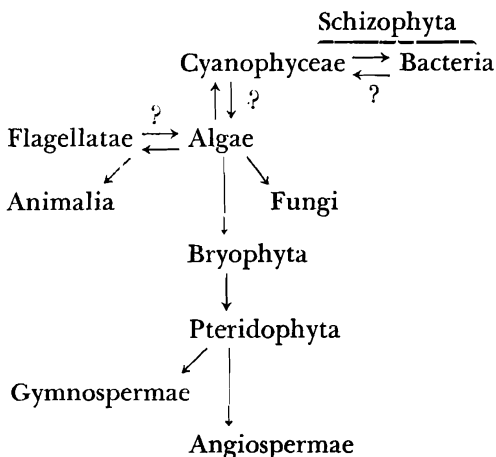
ORGANIZAÇÃO DA PLANTA

1. TRAÇOS GERAIS

Tôdas as plantas são *organizadas*, quer dizer, possuem vários órgãos que desempenham papéis diferentes: nas plantas superiores a água é absorvida pelas raízes, as fôlhas assimilam CO_2, ramos e troncos trazem as fôlhas, flores e frutos se encarregam da reprodução. Quanto mais desenvolvido um organismo, tanto maior a divisão do trabalho. As plantas inferiores não mostram organização tão rica e especializada; numa planta simples como a *Spirogyra* não conhecemos raízes, nem diferenciação em ramos e fôlhas. Cada célula desempenha tôdas as funções necessárias à vida. Chegada a época da reprodução, são as próprias células vegetativas que se tornam sexuais, copulando e produzindo os zigotos reprodutores (vide pág. 174, fig. 168).

Os *sêres inferiores* são menos organizados do que os superiores. A necessidade de organização e de divisão do trabalho deu-se para os organismos durante o longo desenvolvimento que os dois reinos tiveram na terra e que, como hoje sabemos, durou mais de 1 000 milhões de anos. A Biologia moderna está impregnada da idéia do desenvolvimento, vendo nos organismos adiantados os descendentes de outros mais simples. Supõe que os primeiros sêres que apareceram na terra foram os mais primitivos. Com o decurso das épocas geológicas, transformaram-se para evoluir no sentido de uma organização cada vez mais completa. Contudo, nem todos os grupos, provàvelmente, se transformaram, continuando alguns num estado primitivo, assemelhando-se, assim, às espécies originárias.

Dêsse modo, o sistema atual das plantas e animais refletiria, ainda, os diferentes estados do desenvolvimento que admitimos ter existido na natureza. Nos grupos primitivos vemos os que conservaram mais inalteradamente os caracteres iniciais. Os mais organizados, que possuem a maior diferenciação, ao nosso ver, são os mais recentes. Em linhas gerais essas idéias são confirmadas também pela Paleontologia, que estuda os fósseis. Os sedimentos mais profundos e mais velhos contêm restos só de animais e de plantas primitivas. Quanto mais subimos, encontramos representantes e grupos cada vez mais diferenciados, mais evoluídos: os sêres superiores dos nossos sistemas.

Para compreendermos a organização rica das plantas mais adiantadas, será indicado seguirmos o desenvolvimento dos grupos, reconstruindo o progresso nas séries filogenéticas (1). Na verdade, essa reconstrução não pode ser perfeita, porquanto ninguém assistiu ao desenvolvimento do reino vegetal. É esta nossa interpretação contemporânea que se exprime no sistema que hoje adotamos como "natural". O sistema é filogenético; baseia-se nas nossas idéias sôbre o desenvolvimento dos grupos, que descenderiam uns dos outros.

O diagrama representa, em linhas gerais, os conceitos que geralmente são adotados pelos botânicos. As flechas indicam o sentido do desenvolvimento. Se as Algae ou as Cyanophyceae estão no início, é discutido. As Algae estão em ligação estreita com as Flagellatae cujos representantes autotróficos são incluídos na classe das Algae, enquanto as Flagellatae heterotróficas iniciam a série dos animais. Se as Algae se originaram das Cyanophyceae, ou se êsse grupo representa um regresso das Algae, não o sabemos. A origem das Flagellatae, Algae e das Cyanophyceae desaparece na obscuridade do passado.

Geralmente se supõe que os primeiros sêres vivos foram autótrofos, porque os heterótrofos dependem daqueles. Não podemos, porém, excluir a possibilidade de estarem na base do sistema, as bactérias autótrofas, às quais nos referimos na pág. 35. Talvez existisse a quimiossíntese antes da fotossíntese. Citamos isso sòmente para mostrar como tôdas as especulações sôbre a base da árvore genealógica dos sêres vivos estão sujeitas a interpretações diversas. Contudo, a partir das algas, podemos acompanhar, conforme as flechas do esquema, o desenvolvimento paulatino da organização e da morfologia.

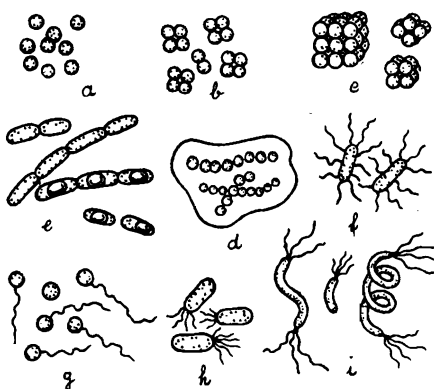
(1) *Phylogenia*, do grego: *phyle* = ordem, série.

Seguindo de perto o desenvolvimento, verificamos que uma das causas mais importantes do progresso na organização foi a transição das plantas aquáticas para a vida terrestre. Sem dúvida, os primeiros organismos se desenvolveram na água. Todos os processos vitais, as reações que se operam no interior do protoplasma, estão ligadas a um meio líquido, aquoso. A transição da vida aquática para a terrestre exigiu, como veremos, grandes esforços dos grupos vegetais para se adaptarem às novas condições. Isso não é contradito pelo fato de que algumas algas marinhas atingiram um certo grau de diferenciação que, entretanto, não se pode comparar ao das plantas terrestres.

Indivíduos unicelulares e colônias. — A organização mais simples é a que encontramos nos micróbios unicelulares. Quanto à morfologia, sem dúvida representam a primeira etapa do desenvolvimento. Entretanto, não devemos imaginar que êsses organismos sejam verdadeiramente muito primitivos sob qualquer ponto de vista. Quanto à fisiologia, o estudo detalhado mostra que são dotados de uma grande perfeição em suas reações, quando irritados; muitos são munidos de flagelos ou cílios que funcionam com grande precisão. Tôda a sensibilidade do seu comportamento é salientada de maneira muito clara no livro clássico de Jennings (1).

Fig. 38
Tipos de bactérias: *a*, *Coccus*; *b*, *Micrococcus*; *c*, *Sarcina*; *d*, *Streptococcus*; *e*, *Bacillus subtilis*; *f*, *B. subtilis*, estado flagelado; *g*, *Planococcus*; *h*, *Pseudomonas*; *i*, *Spirillum*. Orig.

Já nos animais e vegetais unicelulares há a tentativa de formar corpos maiores, compostos de algumas ou muitas células que ficam reunidas em famílias ou *colônias*.

Nas bactérias, os representantes do grupo *Coccus* formam células, geralmente isoladas, que se separam depois da divisão transversal. Muitas vêzes, as células-filhas não se separam imediatamente, ficando unidas em pares, o que dá origem aos *Diplococcus*. Prolongando-se a união, nascem fios verdadeiros, característicos para o gênero *Streptococcus*. Em todos êsses casos, as divisões das células sempre são orientadas no mesmo plano, resultando assim *colônias unidimensionais*. Outras vêzes, o plano de divisão celular é modificado, orientando-se o da divisão seguinte perpendicularmente ao da anterior. Resultam assim, colônias de duas dimensões (*Micrococcus*) ou de três dimensões, as *Sarcinas* (fig. 38).

(1) Jennings, H. S. — Behaviour of the lower organisms. New York, 1906.

Formação semelhante de colônias se nos depara nos grupos das *Cyanophyceae* (fig. 39) e nas *Chlorophyceae*, onde, por exemplo, nas *Volvocales*, encontramos, além de células flageladas isoladas, colônias admiráveis, como o *Gonium* (bidimensional) e as esferas de *Eudorina* e *Volvox* (fig. 40). Tôdas estas formas se encontram nas águas doces do Brasil.

A independência dos indivíduos que se agrupam assim em colônias pode ser mais ou menos acentuada. Na *Gloecapsa* da fig. 39 é uma massa gelatinosa comum que mantém as colônias cujos elementos fàcilmente se podem separar. Os indivíduos das *Volvocales*, muitas vêzes, estão ligados ìntimamente entre si por prolongamentos protoplasmáticos, ligações essas que encontramos mais adiante nos tecidos das plantas superiores, sob o nome de *plasmodesmos*.

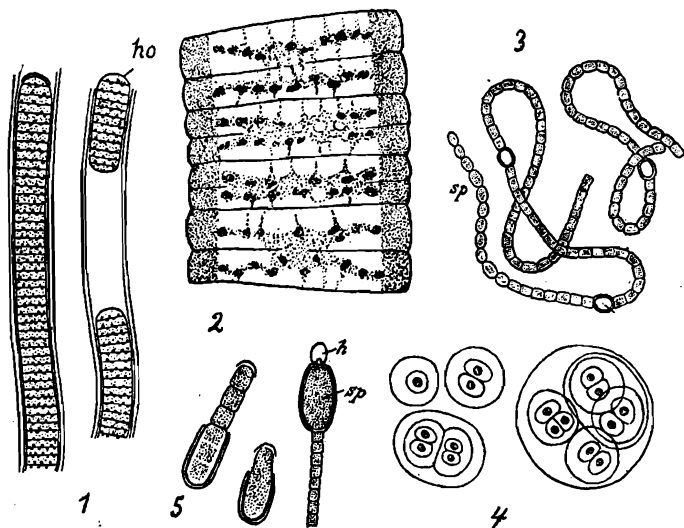



Fig. 39
Cyanophyceae: 1, Lyngbya aestuarii; 2, Oscillaria princeps, parte de um fio; 3, *Nostoc verrucosum; 4, Gloeocapsa sanguinea: 5, Cylindrospermum stagnale; sp*, esporos; *h*, heterocistos; *ho*, hormogônio.
Seg Wettstein, Smith e Cooke.

Característica para tais colônias é a pouca divisão de trabalho entre os indivíduos. Ainda no *Volvox* cada indivíduo é órgão de movimento, de absorção e de fotossíntese; cada um tem sua mancha ocelar, com que deve perceber a direção da luz. Sòmente algumas células da colônia se especializam para a tarefa da reprodução vegetativa ou sexual.

A utilidade da formação de colônias deve ser interpretada como medida de proteção aos "concorrentes". Vimos na pág. 43 que muitas bactérias se protegem por excreção de substâncias tóxicas que prejudicam o desenvolvimento das espécies concorrentes. É evidente que a se-

creção de uma célula isolada seria pouco eficiente. Reunidas em massa são mais poderosas. Um exemplo de fácil demonstração é o *Mycoderma aceti,* bactéria responsável pela transformação do álcool em ácido acético e que encontramos muitas vêzes em colônias macroscópicas e mucilaginosas no vinagre (mãe do vinagre). Além disso as colônias são melhor protegidas contra os inimigos que as atacam. Geralmente são infusórios heterótrofos, que fàcilmente podem engolir indivíduos separados mas que não podem dar cabo de colônias inteiras.

Colônias em fios. — Nas plantas superiores podemos ver colônias enormes de células, que se desenvolveram no sentido da divisão do trabalho e da organização. Parece que a *colônia em fio* prestou-se melhor como ponto de partida para uma evolução ulterior. Em todo o caso, constatamos que colônias do tipo das mencionadas, de duas ou três dimensões, não tiveram desenvolvimento ulterior, no reino vegetal.

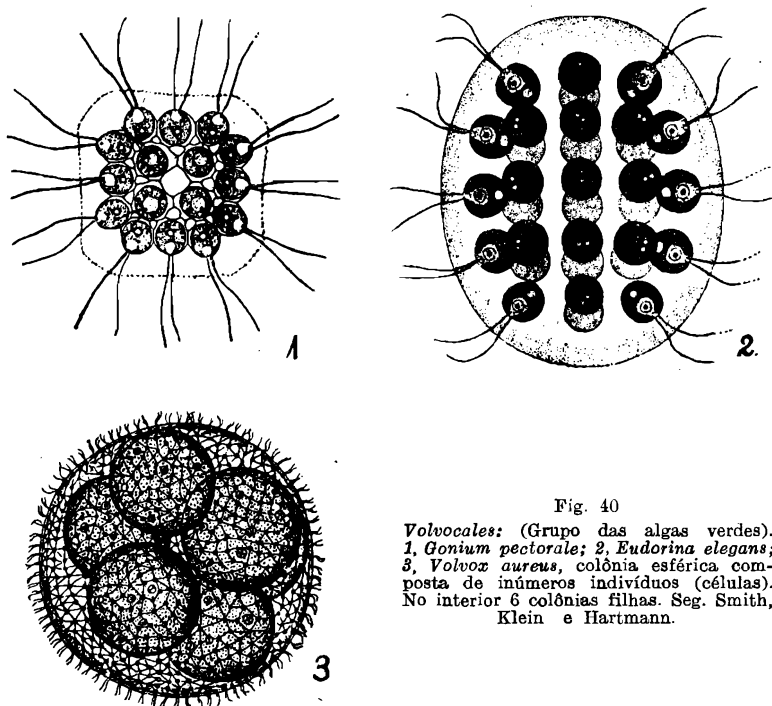



Fig. 40
Volvocales: (Grupo das algas verdes). *1, Gonium pectorale; 2, Eudorina elegans; 3, Volvox aureus,* colônia esférica composta de inúmeros indivíduos (células). No interior 6 colônias filhas. Seg. Smith, Klein e Hartmann.

Os fios mais primitivos com que deparamos, evidentemente são aquêles cujas células não mostram qualquer divisão de trabalho, caso êsse que já encontramos na *Spirogyra* e que é muito freqüente nas algas verdes. Cada célula fica com a capacidade de se multiplicar vegetativamente por bipartição; cada célula, no momento da reprodução sexual, pode tornar-se gameta e copular. O fio não tem pontas nem base, flutuando livremente na água.

O primeiro passo na organização é a diferenciação de uma base com que as algas se podem fixar no substrato. No *Oedogonium* da fig. 41, a célula básica mostra algumas excrescências que formam um apressório com o qual se agarra a um suporte. A vantagem dessa primeira organização é extraordinária, permitindo às algas a habitação de águas correntes. A célula apical também se distingue por uma particularidade, um pequeno espinho, que pode ser interpretado como meio de defesa dessa parte mais exposta aos agressores. Em muitas algas do tipo do *Oedogonium* a divisão do trabalho não ultrapassa essas diferenças, tôdas as outras células conservam caráter igual.

Fig. 41
Fio de uma alga do gênero *Oedogonium: ap*, apressório; *a*, espinho. Orig.

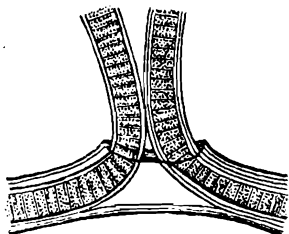



Fig. 42
Pseudo-ramificação da *Cyanophycea Plectonema tomasinianum*. Seg. Hansgirg, ap. Wettstein.

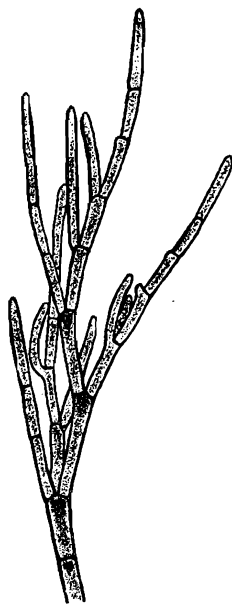



Fig. 43
A alga *Cladophora glomerata*, mostrando ramificação verdadeira. Seg. Goebel.

Surge novo progresso com o aparecimento da ramificação nos sistemas vegetais. Enquanto as células se dividem numa direção determinada, resultam apenas fios não ramificados. O primeiro fenômeno de ramificação, que se produz em alguns casos, é a *pseudo-ramificação* representada na fig. 42, em *Cyanophyceas,* cujos fios formam bainhas gelatinosas mais ou menos resistentes. Em lugares de crescimento muito ativo, os fios rompem as bainhas para sair lateralmente.

Na *ramificação verdadeira* algumas células abandonam a direção costumeira das divisões celulares, dividindo-se numa direção perpen-

dicular ao eixo do fio (fig. 43). A orientação da divisão nuclear precede a orientação do crescimento posterior dessas células, que assim se desenvolvem como ramos laterais. Quais as causas que determinam a mudança da orientação das divisões, nas células indicadas, não o sabemos. Ignoramos, também, por que causa os ramos se dispõem sucessivamente nas diversas direções do espaço, resultando disso geralmente uma disposição mais ou menos simétrica. A utilidade é evidente: dêsse modo a alga aproveita e explora o seu habitat do modo mais eficiente.

Com o aparecimento da primeira ramificação verdadeira, originam-se novos progressos no sentido da divisão do trabalho.

1.º) O eixo central torna-se o suporte do sistema vegetativo, formando quase o seu esqueleto, ao passo que os ramos laterais se especializam para o trabalho de fotossíntese. Resulta disso um crescimento limitado dos ramos secundários ou "assimiladores". O fio central continua seu crescimento, relativamente ilimitado, que aumenta o alcance do sistema vegetativo. Às vêzes, alguns ramos laterais podem também tomar êsse caráter, tornando-se novos eixos centrais, ao lado do primeiro.

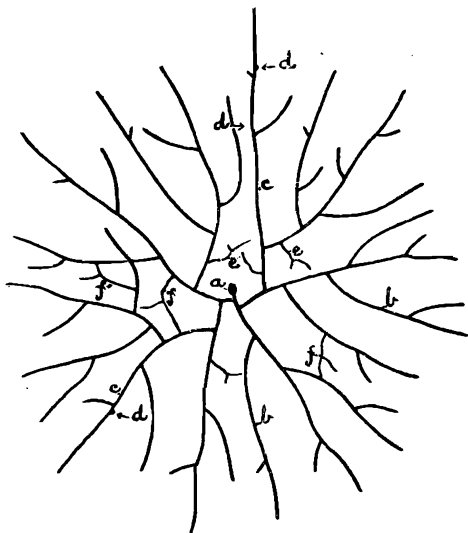



Fig. 44
Micélio de um fungo (*Coprinus sterquilinus*): As hifas divergem do esporo (*a*); vêem-se hifas principais (*c*), laterais (*b*) e formação de anastomoses (*e*, *f*). Seg. Buller.

2.º) A disposição simétrica e regular dos ramos laterais só serve para a melhor exploração do espaço, se subseqüentemente não houver deslocamento e perturbações do sistema. Quer dizer que as células do eixo principal, que ficam entre a inserção dos "laterais" não devem sofrer novas divisões e novo crescimento. Assim se esboça em tais sistemas uma nova diferença muito sintomática, a de *células meristemáticas* (1) e de *células adultas*. O crescimento se limita aos ápices dos eixos. Aqui as células conservam caráter embrionário, sendo incumbidas da divisão e da formação de novos elementos. As outras células perdem essa propriedade, especializam-se para a assimilação ou para a sustentação do sistema e só em condições especiais e excepcionais podem re-

(1) *Meristematicas*, do grego: *merizein* = dividir.

tomar a capacidade de dividir-se ou tornar-se novamente embrionárias ou meristemáticas.

As figs. 44 e 45 demonstram, no exemplo de um cogumelo e de uma alga, como se efetua, na realidade, tal divisão de trabalho, ficando reservado o crescimento do sistema vegetativo a alguns elementos e a exploração do espaço ganho, a outros.

O ápice, desde agora, torna-se *ponto vegetativo*. Nos sistemas primitivos, compostos de fios ramificados, cada fio possui uma *célula apical* que, por divisões sucessivas, forma de cada vez um segmento para baixo.

Êste segmento pode se dividir mais algumas vêzes, antes de se tornarem adultos os elementos dêle derivados. É geralmente neste estado semi-embrionário, que certas células sofrem as divisões laterais mencionadas, produzindo ramos laterais com novos pontos vegetativos (fig. 46).

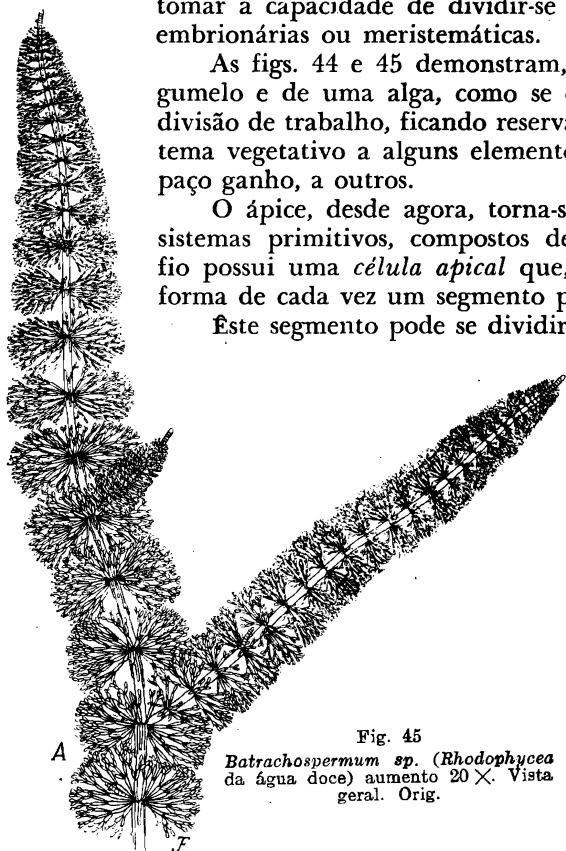



Fig. 45
Batrachospermum sp. (*Rhodophycea* da água doce) aumento 20 ×. Vista geral. Orig.

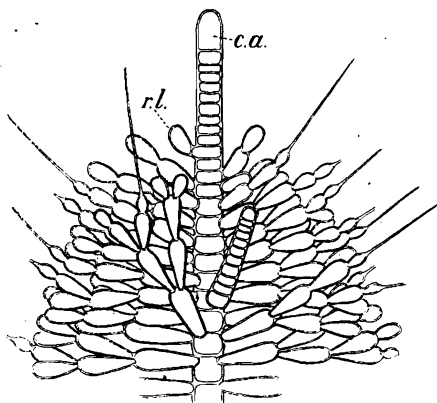



Fig. 46
Batrachospermum sp., ápice de um ramo, aumento 250 ×; *c.a.*, célula apical; *r.l.*, ramo lateral em formação. Orig.

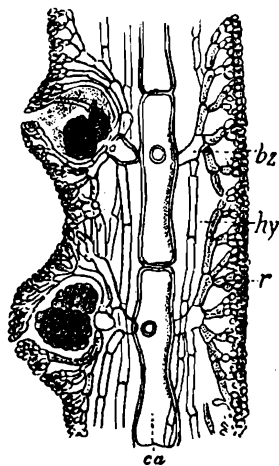



Fig. 47
Calosiphonia Finisterrae (*Rhodophycea* marinha): corte long. do talo; *ca*, eixo central; *bz*, célula basal de um ramo verticilar; *r*, casca; *hy*, ramificações do interior, chamadas hifas. Seg. Bornet.

Tecidos. — Os sistemas vegetativos assim formados parecem já bem aparelhados para a luta pela vida. Entretanto são sistemas compostos de fios delicados, que não podem formar corpos volumosos. Para isso é necessário sair do estado unidimensional de fio ou "monossifão" (1) para formar conjuntos tridimensionais de células. Para tal fim ofereceram-se dois caminhos: a formação de *pseudoparênquimas* e a de *parênquimas* verdadeiros (2).

Pseudoparênquimas. — Já no exemplo do *Batrachospermum,* alga do grupo *Rhodophyceae* que encontramos freqüentemente nos córregos limpos do Brasil, podemos observar os primeiros passos para formação de tais tecidos. Os fios dos ramos laterais ainda ficam isolados, mas na base cada ramo lateral desenvolve alguns fios que descem junto do eixo

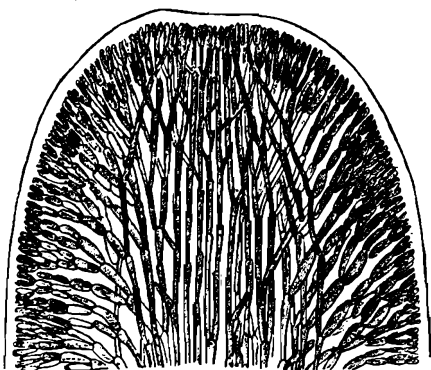



Fig. 48
Furcellaria fastigiata (*Rhodophyceae*). Corte long. do talo; *pseudoparênquima.* Seg. Oltmanns.

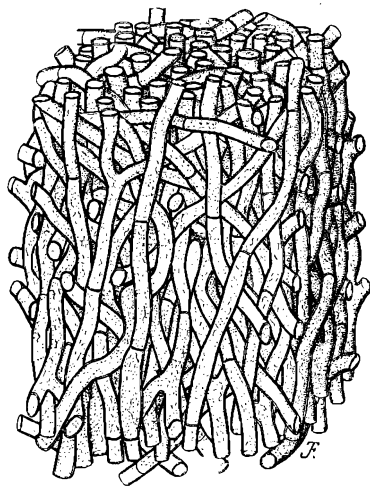



Fig. 49
Pseudoparênquima ou Plectênquima de um fungo superior (*Boletus edulis*). Seg. Schenck, modificado.

central, revestindo-o como mostra a fig. 45. Numa forma do mesmo grupo, os ramos laterais se entrelaçam pelas extremidades dos fios, formando-se, assim, uma espécie de casca (fig. 47). Às vêzes, existem vários fios centrais cujo entrelaçamento com seus derivados fornece um tecido compacto, pseudoparenquimatoso, como na *Furcellaria* (fig. 48). Também as formações volumosas dos grandes cogumelos com chapéus são formadas de tais entrelaçamentos dos fios ou hifas, como chamamos a essas células existentes na classe dos *Fungi* (fig. 49).

Parênquimas verdadeiros e *células apicais.* — A formação de parênquimas verdadeiros parte também de fios "unidimensionais". A fig. 50

---

(1) *Monosiphão,* do grego: *mono* = um; *sipho* = tubo.

(2) Por *parenchyma* o botânico geralmente compreende um agrupamento de células, como as que ocupam o interior dos caules e das fôlhas das plantas superiores. Do grego: *para-enchyma,* a massa que enche uma fôrma; abrange os tecidos que enchem o espaço entre vasos e epiderme.

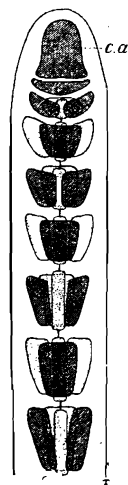



Fig. 50
Bostrychia sp. (Rhodophyceae); ápice de um fio; *c.a.*, célula apical. Orig.

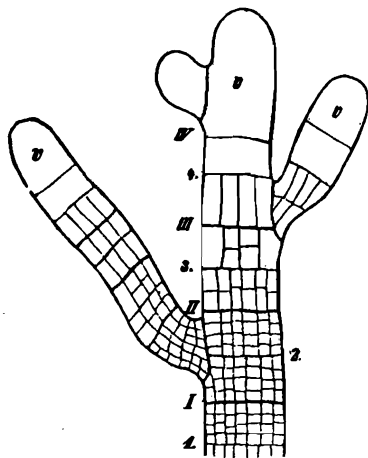



Fig. 51
Sphacelaria scoparia (Phaeophyceae), ápice de um fio: *v*, células apicais. Os segmentos são numerados segundo a idade. Seg. Haberlandt.

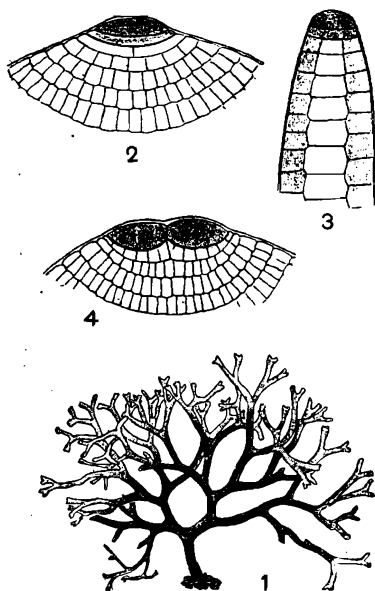



Fig. 52
Dictyola dichotomà (Phaeophyceae): 1, vista geral; 2, ápice com célula apical, de cima; 3, o mesmo, em corte longit.; 4, divisão da célula apical, iniciando ramificação dicotômica vista de cima. Seg. Schenck e Thuret ap. Oltmanns.

mostra a célula apical da *Rhodophycea Bostrychia,* freqüente nas costas brasileiras, onde cresce nos troncos dos manguezais. Aqui a célula apical corta um só segmento; êste logo sofre divisões longitudinais sucessivas, formando-se assim um fio construído por andares de 4 a 6 células. A fig. 51 mostra processo idêntico, mais acentuado numa alga parda, a *Sphacelaria.* São tecidos volumosos, compactos, que resultam das divisões consecutivas dos derivados da célula apical.

Nem sempre os derivados parenquimatosos da célula apical formam um caule cilíndrico, como no caso da *Bostrychia* e da *Sphacelaria.* A fig. 52 mostra o ápice de uma *Dictyota,* alga parda, não rara nas rochas do litoral brasileiro. A planta tem a forma de uma fita achatada e na figura podemos acompanhar o seu crescimento. O único segmento formado pela célula apical aumenta muito numa dimensão, enquanto na segunda só forma 3 camadas diferentes. A ramificação dá-se por "di-

cotomia" (1) completa. Inicia-se com uma bipartição da célula apical, resultando daí 2 células apicais iguais. Como se origina destas o sistema bifurcado de ramos, vê-se na ilustração.

A *Dictyota* é uma amostra completa das formas vegetais que são denominadas *talos* (2). Se não existe distinção entre caules e fôlhas empregamos êsse têrmo. A maioria das algas, os fungos e os liquens possuem talos, merecendo por isso o nome de *Thallophyta*. No caso contrário, se pudermos distinguir caule e fôlhas, falaremos em *cormo* (3), sendo os grupos superiores das plantas designados como *Cormophyta*. Casos muito interessantes de transição entre *Thallophyta* e *Cormophyta* constituem certos grupos de *Hepaticae* entre as *Bryophyta*, que, por isso, logo vamos considerar mais detalhadamente.

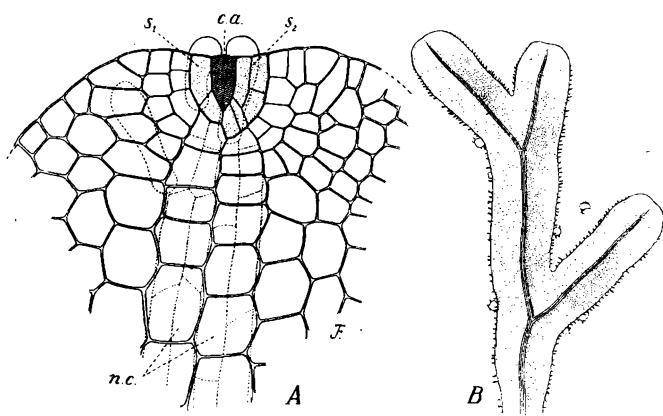



Fig. 53

Metzgeria sp., uma das *Jungermanniales* talosas (Hepaticae): *A*, ponta vista de cima; *c.a.*, célula apical; S_1, S_2, os dois segmentos, já divididos; *n.c.*, nervura; aument. 120 ×; *B*, vista geral. Aument. 120 ×. Orig.

Como veremos (pág. 92) muitas algas já esboçam, aliás, a diferenciação em caule e fôlhas e podemos acompanhar o mesmo processo na classe das *Bryophyta*. Nas algas, as células apicais sempre formam um só segmento que, por divisões superiores, dá origem ao futuro talo. Nas *Bryophyta*, a célula apical tem a forma de cunha, dividindo, alternativamente, um segmento de cada lado, como no caso da *Metzgeria* reproduzida na fig. 53. Muitas vêzes a célula apical toma a forma de uma pirâmide ou de um tetraedro, dividindo, alternativamente, 3 segmentos, um para cada lado. Isto se dá habitualmente nos musgos e nos fetos. Nas raízes das *Filicineae* o tetraedro também separa um segmento, para o ápice da raiz, do qual se origina a coifa (fig. 54).

Enquanto na maioria das *Cryptogamas* a célula apical é bem diferenciada, nas *Phanerogamas* são várias células que possuem esta qua-

(1) *Dichotomia*, do grego: *dicha* = bi (no sentido de bipartido); *temnein* = dividir.
(2) *Thallo*, do grego: brôto; *thallein* = brotar.
(3) *Cormo*, do grego: *cormos* = caule, tronco.

lidade e cujos produtos de divisão formam, por divisões posteriores, todos os tecidos do vegetal (fig. 55) (1).

Com as células apicais ou iniciais, já travamos conhecimento com uma diferença anatômica muito importante: a dos tecidos meristemáticos e dos somáticos. A palavra grega *"merizein"* significa repartir, dividir-se, e os tecidos cujo papel consiste na divisão e na produção de

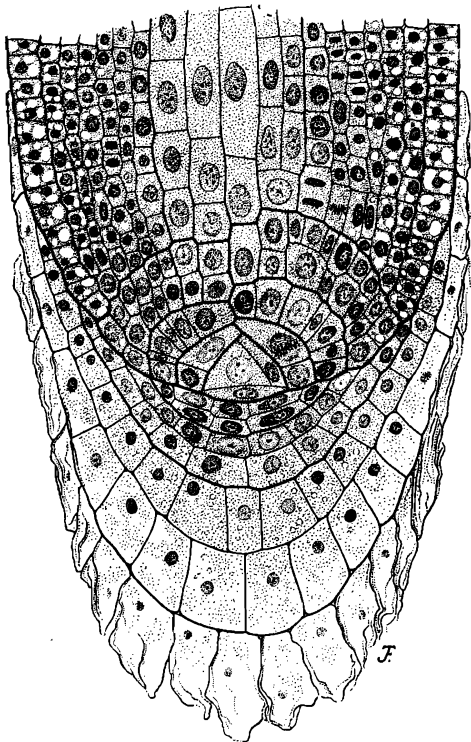



Fig. 54
Ponta de raiz de uma *Filicinea*, corte long. Vê-se a célula apical tetraédrica. Além do segmento que forma a coifa, vêem-se dois dos três segmentos laterais. Aumento: 120 X. Orig.

novos elementos receberam o nome de *meristemas*. Tais células conservam sempre, ou melhor, por tempo indeterminado, o seu caráter embrionário. Outras células derivadas dos meristemas, tornam-se adultas, perdendo a capacidade de dividir-se, especializando-se num sentido qualquer. Tais células e tecidos denominam-se somáticos (2) e compõem o resto do corpo vegetativo.

A maneira pela qual as células adultas dos tecidos somáticos se especializam em vários sentidos, será descrita na parte seguinte, que se ocupa da anatomia.

---

(1) Não sendo encontrado *Hippuris* no Brasil, recomendam-se para tais estudos os ápices das *Elodeas*, plantas freqüentes na água doce e cultivadas em aquários.

(2) *Somático*, do grego: *soma* = corpo.

O que foi exposto é válido não só para as diferenciações dos tecidos, mas, também, para as dos órgãos. Já vimos como nos fios pouco organizados surgem os apressórios que desempenham o papel de raízes, (*Oedogonium*, fig. 41, pág. 84). Neste caso a Botânica não fala de raízes verdadeiras como também no caso das *Bryophyta* onde células inteiras se diferenciam em pêlos absorventes; chamamos a êsses elementos primitivos e unicelulares, *rizóides*, reservando o têrmo raiz para os órgãos pluricelulares que conhecemos nas plantas superiores desde as *Pteridophyta*.

Já vimos na fig. 54 como as raízes de um feto são compostas de tecidos verdadeiros que provêm de uma célula apical, como o próprio caule.

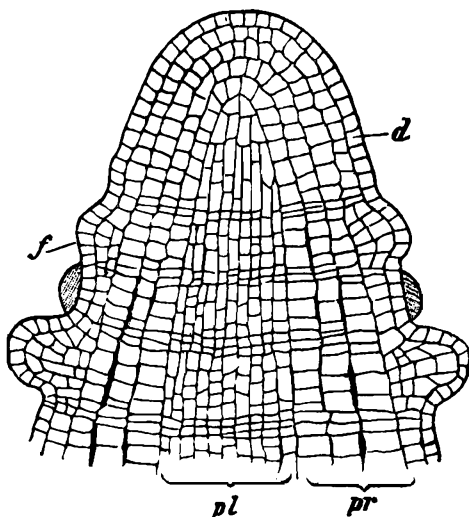



Fig. 55
Ponto vegetativo de *Phanerogama* (*Hippuris vulgaris*), corte long. Diferenciam-se: de *d* (Dermatogênio), a epiderme; de *pr* (periblema), a casca; de *pl* (pleroma), o cilindro central; de *f* as fôlhas. Seg. Strasburger.

Parece que a divisão de trabalho entre elementos que funcionam como raiz e como caule foi a primeira diferenciação que se deu. Já sabemos que em muitas talófitas o caule ainda não sofreu uma diferenciação posterior, constituindo um sistema pouco subdividido, como na *Dictyota*, sem divisão de trabalho. Mas, no *Batrachospermum* já encontramos uma subdivisão em eixo central e ramos laterais assimiladores. O eixo central, com crescimento indeterminado, desempenha papel semelhante ao dos ramos sustentadores que suportam e prolongam a copa de uma árvore. Os ramos laterais, muito ramificados e de crescimento limitado, são comparáveis às fôlhas, funcionando como estas, como assimiladores. Só depois de conhecermos a organização complicada das plantas superiores, poderemos julgar tôda a utilidade dessa divisão de trabalho.

Já nas algas marinhas conhecemos muitas formas que abandonaram o seu caráter de talófitas, produzindo verdadeiros sistemas de ramos folheados. Tal diferenciação se desenvolve fàcilmente: as partes basais dos talos tornam-se cilíndricas, ao passo que partes determinadas, geralmente apicais, permanecem achatadas, formando às vêzes lâminas bem nítidas. Na *Laminaria* da fig. 56 a diferenciação ainda é pouco

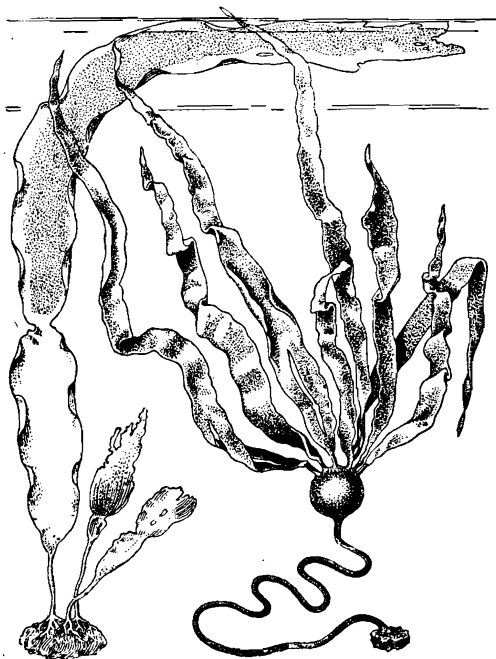



Fig. 56

Laminaria saccharina (esquerda) e *Nereocystis Lutkeana*, duas *Laminariaceae* (*Phaeophyceae*) de mares frios. Modif. Seg. Oltmanns, Postels e Ruprecht.

Fig. 57

Sargassum stenophyllum. *Phaeophycea* freqüente nas rochas do litoral brasileiro; com bóias e órgãos de reprodução. Seg. Martius.

marcada. Na *Nereocystis*, o caule muito flexível termina numa "bóia" cheia de ar que mantém as "fôlhas" flutuantes na superfície do mar. No *Sargassum* (fig. 57), também alga parda, abundante nas costas do Brasil, encontramos novamente pequenas "bóias" espalhadas no caule e muitas "fôlhas". Independentemente das algas pardas, também as vermelhas ou *Rhodophyceae* desenvolveram, em alguns grupos, diferenciação análoga em fôlhas e caules.

Nas *Bryophyta* observamos desenvolvimento parecido no grupo das *Hepaticae*.

As *Hepaticae* podem ser consideradas como as plantas mais primitivas hoje existentes entre os vegetais superiores. Duas ordens dessa classe,

as *Marchantiales* e as *Anthocerotales* geralmente se apresentam em forma "talofítica" bem pronunciada. Um terceiro grupo, as *Jungermanniales* mostra tôdas as transições entre organização talo e cormofítica, existindo às vêzes no mesmo grupo espécies com e sem fôlhas diferenciadas. A fig. 58 mostra um representante das formas talosas, uma *Aneura*. Ainda pode ser comparada com a *Dictyota*. A ramificação "ab initio" é dicotômica, mas a planta não conserva essa dicotomia. Observamos que um dos ramos gêmeos cresce menos que o outro, tornando-se um ramo ou sistema ramificado com crescimento limitado, para se transformar finalmente em assimilador. O outro ramo gêmeo continua com crescimento ilimitado, tornando-se eixo do sistema; também continua na direção do eixo que o formou. Os ramos assimiladores, ao contrário, ficam ao lado. Disso resulta uma ramificação dística, que na *Aneura* apresenta muita simetria. Os ramos laterais tomam o papel e não raramente a forma de fôlhas.

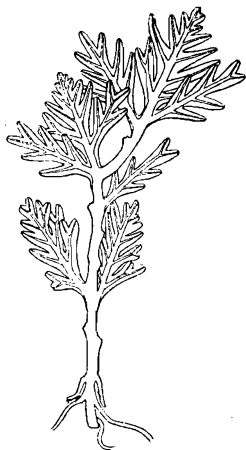



Fig. 58
Aneura eriocaules, uma fo ma talosa das *Jungermanniales*. Seg. Goebel.

Na maioria dos casos a transformação de talos em cormos se faz de outra maneira. A fig. 59 mostra uma *Schiffneria* cujo talo esboça recortes foliosos. A *Androcryphia*, vistosa hepática de florestas brasileiras,

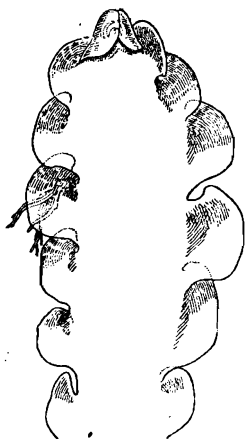



Fig. 59
Schiffneria hyalina; Jungermanniale talosa. Seg. Goebel.

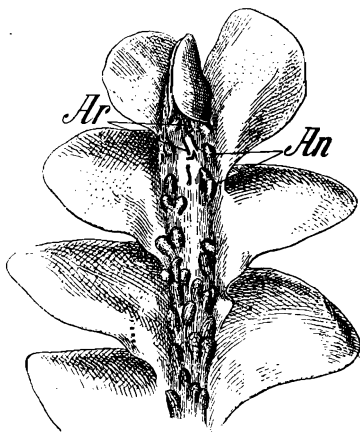



Fig. 60
Androcryphia sp. Jungermanniale talosa do Brasil. Na parte central, os órgãos sexuais; *Ar*, Arquegônio; *An*, Anterídios. (V. também pág. 200). Seg. Goebel.

mostra recortes análogos, já modelados em fôlhas perfeitas. A parte central, entre estas, é diferenciada em caule (fig. 60).

O exemplo das *Hepaticae* tem grande valor ilustrativo para mostrar como a formação do cormo das plantas superiores pode ser inter-

pretada. Entretanto, os ramos munidos de fôlhas das *Cryptogamas* superiores não podem ser derivados dos talos e cormos das *Bryophyta*, como veremos detalhadamente na V parte. Como as *Algae* e as *Bryophyta*, também as *Pteridophyta* desenvolveram independentemente a sua organização, organização essa que continua nos grupos das *Phanerogamae*.

2. HISTOLOGIA

A. Tecidos meristemáticos

Já nos "Traços gerais" esboçamos a diferença entre tecidos meristemáticos e permanentes. As células que compõem os meristemas conservam o caráter embrionário. Parecem em geral mais ou menos isodiamétricas, sem vacúolos aparentes e com membranas tão delicadas que os primeiros anatomistas não puderam distinguir o seu caráter celular. O lúmen contém só protoplasma. O núcleo parece relativamente grande.

Fig. 61
Células da ponta da raiz de *Fritillaria imperialis*: *A*, células embrionárias no ponto vegetativo; *B*, células já se diferenciando, 2 mm distantes do ponto vegetativo; *C*, células adultas, 8 mm acima do ponto vegetativo. Tôdas no mesmo aumento de 750 ×. Seg. Sachs, modif.

Algumas células do ponto vegetativo sempre conservam êstes caracteres, seu crescimento é acompanhado de divisões nucleares e celulares que as mantêm sempre no mesmo tamanho; outras tornam-se somáticas, crescendo por distensão. Neste caso são as membranas que aumentam; citoplasma e núcleo não alteram seu tamanho, mas no interior do plasma formam-se, por aumento de líquido, os vacúolos, que finalmente se fundem num grande vacúolo único, característico da maioria das células adultas (fig. 61). Tais células geralmente não se dividem mais.

A diferença entre células meristemáticas e adultas não é absoluta: as células somáticas, enquanto vivas, podem tomar novamente caráter embrionário, resultando daí, os chamados meristemas secundários (págs. 103 e 116).

Como mostra a fig. 55 (pág. 91), a diferenciação das células somáticas já se esboça bem perto do ponto vegetativo. Distingue-se no centro uma parte que se chama *pleroma* (1) e que será empregada para a for-

(1) *Pleroma*, do grego = enchimento.

mação do cilindro central. A camada exterior, que formará a epiderme, chama-se aqui *dermatogênio*. Da camada que fica entre o pleroma e o dermatogênio, isto é, do *periblema* (1), resultará, mais tarde, a casca.

Às vêzes, êsses tecidos futuros não se distinguem tão bem como na figura e a diferenciação neste estado nem é bem visível, nem parece de significação essencial. Conforme as influências do ambiente, as células podem tomar papéis diversíssimos, podendo células periblemáticas formar elementos do cilindro central e células do pleroma originar elementos de casca ou de epiderme, em casos excepcionais. Em que consistem essas influências e como se exercem durante a diferenciação dos tecidos, é um problema muito interessante a ser resolvido no futuro. A disciplina que examina tais problemas chama-se *fisiologia do desenvolvimento* (vide pág. 156).

B. Tecidos permanentes

Nas plantas a distinção anatômica dos tecidos é muito menos nítida do que nos animais; a especialização é menos completa e poucos sistemas de tecidos sobressaem por uma estrutura bem característica.

Um grupo de tecidos que já chamou a atenção dos primeiros anatomistas foi o dos feixes, especialmente os vasos lenhosos, tão longos, com espessamentos bastante singulares, espiralados ou reticulados (fig. 30, pág. 63). Por outro lado, foi logo possível distinguir a epiderme que reveste exteriormente os órgãos. As células e os tecidos que se encontram entre êsses dois sistemas foram simplesmente classificados como parênquima, palavra que, como já sabemos, só significa enchimento. Com os progressos da Anatomia e da Fisiologia a discriminação de muitos dos seus elementos tornou-se possível, mas uma classificação satisfatória ainda falta e talvez não possa ser dada. Os critérios de distinção variam entre os traços anatômicos e o papel fisiológico.

Os modernos sistemas de divisão, que se inspiram em Haberlandt (2), são fisiológicos. O seu ponto fraco consiste no pouco conhecimento que temos do papel fisiológico de muitos elementos e do fato de muitas células e tecidos desempenharem, ao mesmo tempo, vários papéis.

Os únicos tecidos que podemos distinguir razoàvelmente bem, são, de um lado, os *tegumentos*, de outro, os *feixes*, e as fibras que compõem o *sistema mecânico* ou de suporte. O resto continua a ser *parênquima* ou o antigo *"tecido fundamental"* de Sachs. Dentro dêste, às vêzes, ressaltam determinados complexos que servem para *secreção* ou para armazenar *reservas*. Mas, muitas vêzes, os tecidos e as células encarregadas de tais funções se perdem na grande massa dos outros elementos parenquimatosos.

---

(1) *Periblema*, do grego: *periballein* = embrulhar, revestimento.

(2) Haberlandt G. — *Physiologische Pflanzenanatomie*, 6.ª ed., Leipzig, 1924. Edição inglêsa: Macmillan, 1914.

a) Parênquima

As células do parênquima apresentam normalmente uma ligação íntima entre si. Duas células vizinhas resultam da divisão de uma célula meristemática. Nas plantas superiores estas divisões seguem o esquema da fig. 62.

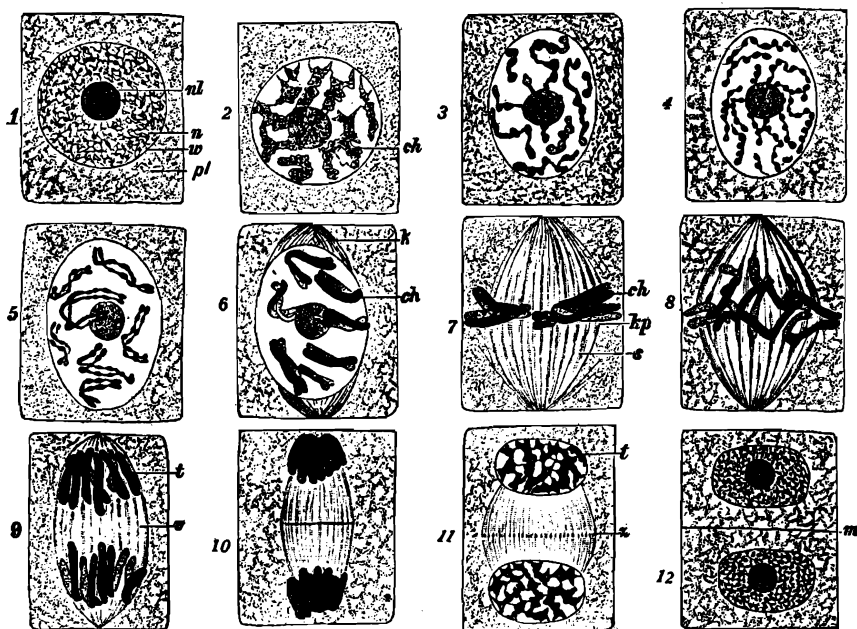



Fig. 62

Cariocinese seguida de divisão celular, acompanhada no meristema da raiz da *phanerogama Najas marina*, um pouco esquematizada; corte long. (fixador: cromo-acético-ósmico; corante: hematoxilina férrica); aument. 1 000 ×. *1*, estado de repouso; *2-6*, profase; *7-8* metafase; *9-10*, anafase; *11*, telofase; *12*, estado de repouso; *n*, núcleo; *nl*, nucléolo; *w*, membrana nuclear; *pl*, plasma; *ch*, cromosomas; *k*, fibras da capa polar; *kp*, placa equatorial; *5*, fuso; *t*, núcleos filhos; *v*, fibras de ligação; *z*, a placa celular da qual nasce *m*, a nova membrana. Seg. Muller.

Cariocinese (1) — Sendo êste assunto tratado amplamente em todos os livros de Biologia geral, damos aqui apenas um breve resumo. A fig. 62, 1 mostra uma célula meristemática com núcleo em repouso. Coloração apropriada permite distinguir os nucléolos, ao passo que dos cromosomas só se percebe uma fina rêde. Ao preparar-se a Cariocínese na *"profase"* destacam-se os fios, formando-se o espirema (fig. 62, 2). Os fios contraem-se, tornando-se mais grossos e já é possível verificar o seu número que é característico para cada espécie animal ou vegetal. Êsses fragmentos de fios são os cromosomas (3, 4). Nesse estado pode ser vista a fenda longitudinal que divide cada cromosoma nos dois futuros cromosomas filhos (5). Ainda juntos deslocam-se para um plano mediano do núcleo, formando, então, a chamada *placa nuclear* ou *equatorial* (6, 7) (*metafase*) (2). Simul-

(1) *Caryocinese*, divisão do núcleo do grego: *karyon* = núcleo; *kinese* = movimento.
(2) *Meta, ana* e *telophase*, do grego: meta que em composição significa transposição, deslocamento; *ana*, em composição, indica a direção para cima, transferindo-se os cromosomas para os pólos; *telo* = fim, fase final.

tâneamente dissolve-se a membrana nuclear e nos dois pólos, onde nos animais se encontram os centrosomas, nos vegetais superiores só pode ser distinguida uma concentração de fibras protoplásmicas que irradiam para o centro da figura de divisão. Estas fibras formam o "*fuso nuclear*". Algumas, como parece, atravessam a figura de pólo a pólo. Outras terminam nos cromosomas. Começa, então, a separação das metades longitudinais ou "*cromatides*" de cada cromosoma (*anafase*, 9); os cromosomas filhos afastam-se em direção oposta, para formar os dois núcleos filhos. Já nesta fase (*telofase*) se esboça a nova divisão longitudinal dos cromosomas que precede a divisão nuclear seguinte. Finalmente, na *telofase*, formam-se as novas membranas nucleares, enquanto os cromosomas se anastomosam, formando uma nova rêde cromática, aliás pouco visível. Neste estado, novos nucléolos tornam-se visíveis. Também o fuso nuclear se dissolve, mas na linha mediana observa-se uma nova membrana muito delicada que parece nascer de espessamentos das fibras do fuso.

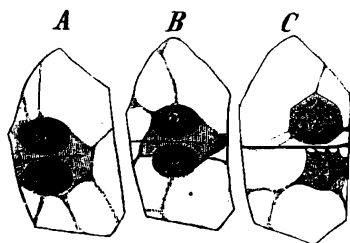



Fig. 63
Estados consecutivos de divisão numa mesma célula, pobre de citoplasma. aument. 365 ×. Seg. Treub, ap. Strasburger. Lehrbuch.

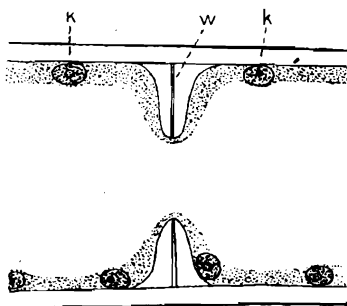



Fig. 64
Formação da membrana numa célula plurinucleada (da alga *Cladophora*); *k*, núcleos; *w*, lamela média. Aument. 600 ×. Seg. Strasburger.

Em casos em que a divisão se dá numa célula pobre em citoplasma, o fuso nuclear não ocupa tôda a extensão da célula e a membrana deve ser formada pelo deslocamento sucessivo da figura de divisão, como vemos na fig. 63.

A divisão de células plurinucleadas pode dar-se independentemente da dos núcleos, como na alga *Cladophora*, onde a nova parede transversal forma uma reentrância, como um diafragma-íris, que finalmente se fecha, deixando, aliás, muitas vêzes, uma pequena abertura (fig. 64).

A primeira membrana separadora consiste de substâncias pécticas :á a "*lamela média*". Tôdas as membranas que envolvem uma cé- "ab initio", são lamelas pécticas que logo são reforçadas por ou- camadas, agora celulósicas. Entre estas ficam espaços não espessa- geralmente correspondentes, em duas células vizinhas: as pontua- ou os poros. Dos dois lados, o citoplasma entra até a lamela mé- esta também é atravessada por ligações citoplásmicas mais deli- s, chamadas *plasmodesmos* (1), que só são visíveis com métodos es- ıis (figs. 65 e 66). Na maioria dos parênquimas as lamelas médias issolvem ou se separam nos ângulos, resultando, assim, meatos ou ços intercelulares que, freqüentemente conduzem gás, servindo,

(1) *Plasmodesma*, do grego: *desmos* = ligação, fita.

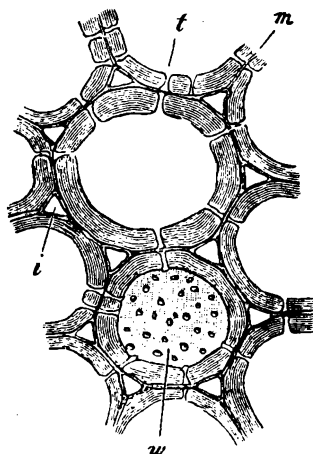



Fig. 65
Células parenquimatosas da medula do caule de *Clematis vitalba:* *m*, lamela média; *i*, meatos; *t*, pontuações vistas de perfil; *w*, pontuações vistas de frente. Aument. 300 ×. Seg. Schenck.

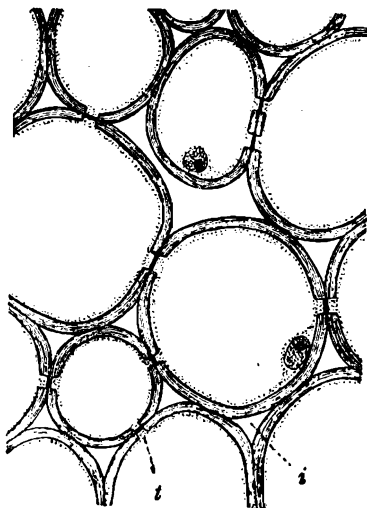



Fig. 67
Parênquima da raiz da *Iris: i*, espaços intercelulares; *t*, pontuações. Aument. 400 ×. Seg. Strasburger, Lehrbuch.

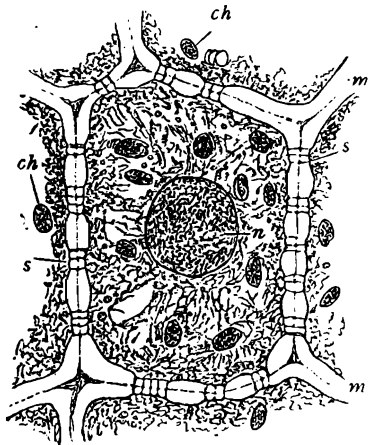
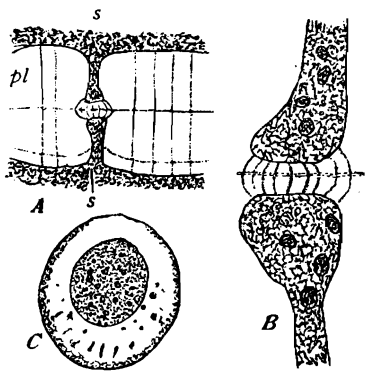



Fig. 66
Plasmodesmos: à esquerda célula da casca duma erva-de-passarinho (*Viscum album*), depois de hidratadas as membranas *m; ch*, cloroplastos; *s*, plasmodesmos aument. 1 000 ×; *A*, fragmento hidratado de membrana celular do endosperma da Palmeira *Phytelephas* (marfim vegetal); *t*, poro com muitos plasmodesmos; *pl*, plasmodesmos isolados, atravessando a membrana; aument. 375 ×; *B* e *C*, poro isolado, de perfil e de cima. Aument. 1 500 ×. Seg. Strasburger.

pois, para aeração (fig. 67). As camadas celulósicas são constituídas por fibrilas submicroscópicas, entre as quais ficam espaços que podem ser ocupados por lignina, suberina e outras substâncias.

As células típicas do *parênquima* são mais ou menos isodiamétricas, geralmente vivas, contendo, no estado adulto, pouco protoplasma e um grande vacúolo. Células distendidas numa direção, tomando forma de fibras receberam o nome de "*prosenquimatosas*".

Parênquimas que servem para fotossíntese geralmente se encontram próximos à superfície dos órgãos e são ricos em cloroplastos. Chamam-se, então, *parênquimas assimiladores* ou *clorênquimas.*

Tecidos cujo papel é a aeração ou ventilação dos órgãos são caracterizados por espaços intercelulares bem desenvolvidos que geralmente formam sistemas comunicantes. Para êles emprega-se o nome de *aerênquimas;* aliás, muitas vêzes, como mostram os clorênquimas do parênquima lacunoso da fôlha, tais tecidos exercem várias funções. (Vide também fig. 141, pág. 148).

Outras vêzes, o papel preponderante é o armazenamento de substâncias de reserva, como amido, gorduras, açúcares, etc. Êsses *parênquimas de reserva* se encontram, por exemplo, nos tubérculos, nas sementes, na casca e na medula, bem como em qualquer lugar onde devem ser acumuladas provisões.

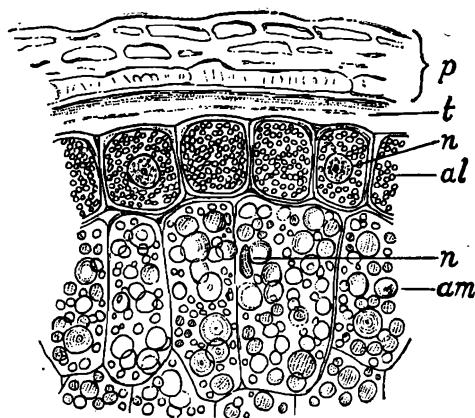



Fig. 67 A
Parte exterior do corte através de um grão de trigo. *p*, pericarpo; *t*, testa da semente; *al*, grãos de aleurona na camada exterior do endosperma; *am*, grãos de amido nas camadas interiores do endosperma; *n*, núcleos. Aumento de 240 vêzes segundo Strasburger.

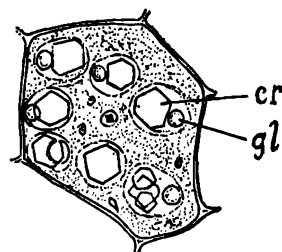



Fig. 67 B
Célula do endosperma da semente de mamona (*Ricinus*), observada em água. *cr*, cristal de proteína; *gl*, globóide. Aumento de 540 vêzes segundo Strasburger.

A fig. 67 A mostra parte de um corte transversal através da semente de trigo. A camada exterior é constituída por células que contêm proteína em forma de grãos, "grãos de aleurona", ao passo que as células interiores estão repletas de amido. A farinha provinda do interior da semente contém quase só amido; o pão integral contém também aleurona, sendo por isso mais rico em proteínas.

Certas sementes contêm proteínas em tôdas as células do endosperma: a fig. 67 B mostra uma célula da semente de mamona, onde no interior de vacúolos especiais encontramos cristais de proteínas e ao lado dêstes corpúsculos esferóides, os "globóides" que também contêm proteínas e fósforo.

As plantas xerofíticas, especialmente as suculentas, possuem parênquimas especiais para armazenar água; muitas vêzes as fôlhas e os caules de tais plantas são intumescidos por *parênquimas aquosos.* (Vide fig. 91, pág. 114).

b) Tecidos condutores

Os vasos lenhosos originam-se de células meristemáticas que logo se ordenam em fileiras (fig. 68). Pelo crescimento de distensão, cada elemento da fileira se alonga e finalmente os septos transversais são inteira ou parcialmente dissolvidos, restando só um anel ou uma membrana fragmentada (fig. 69). As membranas longitudinais são reforçadas por aposição de camadas celulósicas que logo são lignificadas (mediante incrustação de lignina entre as partículas de celulose). Os espessamentos deixam entre si espaços livres que podem tomar a forma de poros normais ou alargados, deixando entre si espessamentos

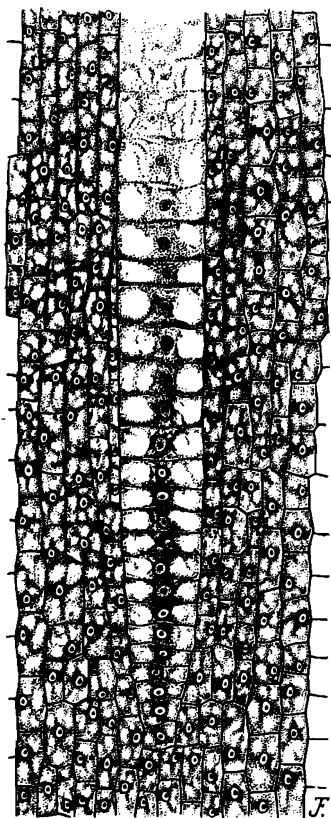



Fig. 68
Origem de um vaso lenhoso, na raiz de milho, corte long. Orig.

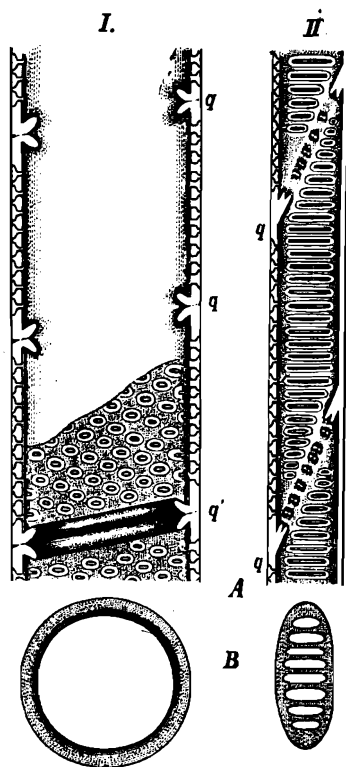



Fig. 69
Esquema de traquéias em corte long. *I*, traquéia larga, mostrando 3 duplos anéis, restos dos septos transversais (*qq'*) e pontuações areoladas (v. pág. 106) elípticas; *II*, traquéia estreita; pontuações areoladas muito compridas deixando entre si reforços escalariformes; *B*, septos destas traquéias, de cima; na traquéia escalariforme a dissolução foi parcial. Seg. Jost.

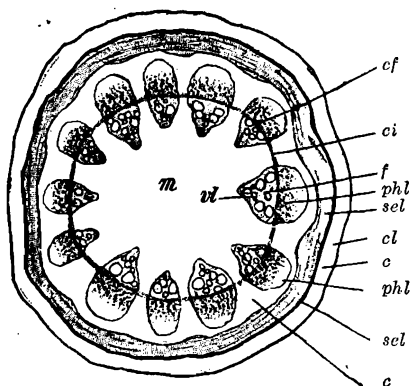



Fig. 71
Corte transv. de caule novo de *Aristolochia sipho*: *m*, medula; *vl*, vasos lenhosos; *phl*, floema; *cf*, câmbio fascicular; *ci*, câmbio interfascicular; *scl*, anel esclerenquimatoso na casca primária *c*. Seg. Strasburger.

escalariformes, espiralados ou anelares, como mostra também a fig. 30 (pág. 63). Originam-se, assim, canais contínuos, as chamadas *traquéias* (1). A traquéia adulta não tem protoplasma vivo nem núcleo.

Os vasos crivados, já representados na fig. 31 (pág. 64) formam-se de maneira análoga, os septos porém nunca são reabsorvidos perfeita, mas só parcialmente, resultando disso os crivos característicos que lhes deram o nome. Às vêzes, as membranas longitudinais, entre dois tubos crivados, são muito pontuadas, não raramente até crivadas. Ao contrário dos vasos lenhosos, os crivados *são vivos*, conservando a camada protoplásmica e freqüentemente também o núcleo. Os tubos crivados são acompanhados em todo o

Fig. 70
Percurso e distribuição dos feixes numa Palmeira: corte longit. do caule, passando pelo plano mediano das fôlhas alternas, amplexicaules. *Aa-Bb-Cc*, fôlhas cortadas perto da base. As maiúsculas indicam a região média das fôlhas. Esquema seg. Rothert e Rostafinski, ap. Strasburger, Lehrbuch.

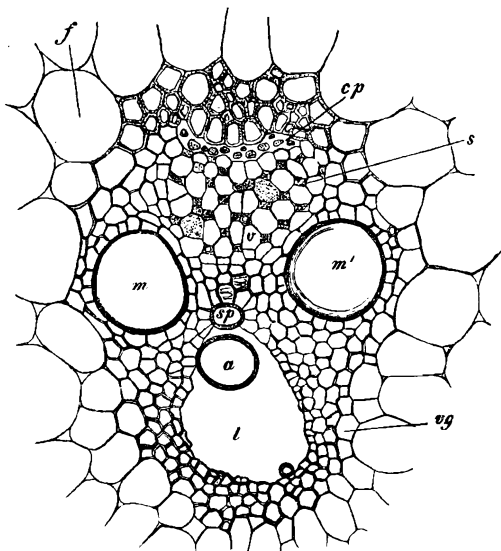



Fig. 72
Feixe do caule de milho (*Zea Mays*) em corte transv.: *v*, vasos crivados; *s*, células anexas; *cp*, protofloema fora de função; *m*, *m'*, traquéias reticuladas; *sp*, traquéias espiraladas; *a*, anel de traquéia destruída; *l*, lacuna formada pela destruição do protoxilema; *vg*, bainha mais ou menos esclerenquimatosa do feixe fechado; *f*, parênquima. Seg. Strasburger.

(1) *Trachea*, do grego *tracheia*, introduzida pelos primeiros morfologistas em comparação com as traquéias aeríferas de animais, especialmente insetos.

seu percurso pelas "*células anexas*". Estas são células irmãs das que constituem os tubos crivados, sendo separadas delas por uma divisão longitudinal. Estas células são ricas em protoplasma e muitas vêzes dividem-se transversal ou obliquamente (vide fig. 31, pág. 64). Raramente faltam nas plantas superiores e sem dúvida desempenham papel importante, mas ainda não definido, colaborando com os tubos crivados na condução da seiva elaborada. Na sua ausência parece que outros elementos parenquimatosos — que sempre existem — desempenham o seu papel.

Vasos lenhosos e crivados, em conjunto com outros elementos, formam os feixes.

Feixes. — A fig. 70 mostra a disposição dos feixes numa planta *monocotyledonea* onde são distribuídos difusamente em todo o corte transversal. Nas plantas *dicotyledoneas* e *gymnospermas* dispõem-se num círculo ou melhor, cilindro, como mostra a fig. 71. A fig. 72 apresenta o corte transversal de um só feixe de uma *Monocotyledonea,* o milho. Na parte designada *v* temos os vasos crivados, dois dêles mostrando placas crivadas. Entre êles, vemos, regularmente dispostas, as células anexas cujo conteúdo plasmático é indicado por côr mais escura. O conjunto destas células forma a parte crivada, o *floema* ou *líber* (1) do feixe. Os dois grandes vasos, ao lado, mais baixo (*m* e *m'*) já pertencem à parte lenhosa, o *xilema* (2); são duas traquéias. Estas são rodeadas por elementos prosenquimatosos vivos, o *parênquima* (3) *lenhoso.* Mais para baixo vê-se outra traquéia (*sp*), uma traquéia sempre espiralada e finalmente uma lacuna (*l*) que contém um anel. Aqui se encontram os restos dos primeiros vasos lenhosos que foram formados logo no comêço da diferenciação do feixe, ainda perto do ponto vegetativo. Já neste momento os tecidos precisam de vasos adutores que devem acompanhar o crescimento dos tecidos ainda não adultos. Essas primeiras traquéias geralmente são aneladas; no crescimento em distensão tais vasos podem ser distendidos, afastando-se os anéis um do outro. Também os vasos espiralados podem ser dilatados. Os primeiros elementos do xilema, o chamado *protoxilema,* compõem-se por isso, de vasos anelados e espiralados. A sua capacidade de acompanhar o crescimento é limitada; finalmente rompem, formando-se lacunas que contêm ainda alguns anéis soltos dêsses vasos.

Como o xilema, também o floema possui os seus primeiros elementos, o *protofloema* (c p), cujos vasos no estado figurado já estão comprimidos e sem função. Quase sempre o floema ocupa a parte exterior do feixe, dirigida para a periferia do caule; o xilema é orientado para o centro.

Finalmente no contôrno, encontramos células *esclerenquimatosas* (4), isto é, fibras com membranas espessadas que servem de proteção mecâ-

(1) *Phloema:* a palavra grega *phloios* e a latina *liber* designam a casca.
(2) *Xylema,* do grego: *xylos* = lenho.
(3) Essa denominação já enraigada não parece bem apropriada tratando-se de elementos prosenquimatosos; usa-se para pôr em relêvo o caráter vivo destas células.
(4) *Sclerenchyma,* do grego: *skleros* = duro.

nica ao feixe e que muitas vêzes formam uma bainha contínua em redor de todo o feixe. A freqüente presença de tais bainhas esclerenquimatosas valeu aos feixes *monocotyledoneos* o nome de *feixes fechados.* O que é mais importante porém, é o fato que êstes feixes se compõem só de tecidos adultos sem meristemas.

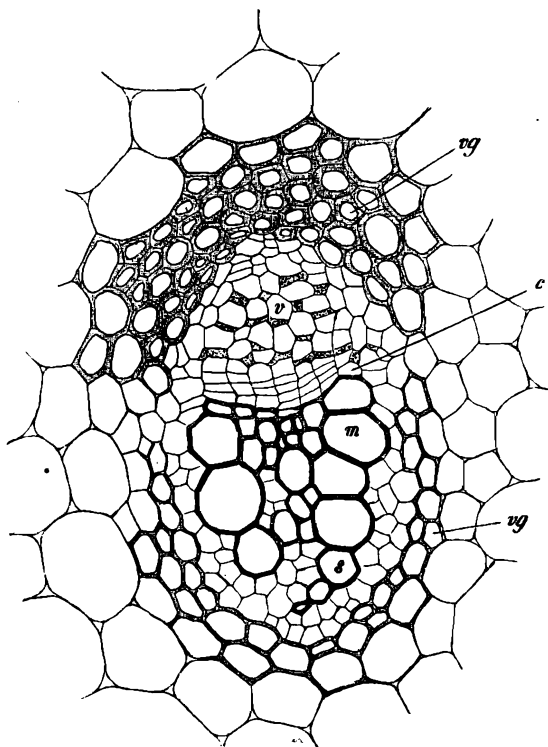



Fig. 73
Feixe aberto do caule de uma *Dicotyledonea* — *Ranunculus repens*: *vg*, bainha esclerenquimatosa (que fica interrompida na altura do câmbio); *v*, floema; *c*, câmbio; *m*, traquéia; *s*, traqueíde do protoxilema. Seg. Strasburger.

Nos *feixes abertos,* das *Gymnospermas* e *Dicotyledoneas,* encontramos disposição idêntica dos elementos (fig. 73). Apenas entre a parte crivada e a lenhosa fica uma camada meristemática, o chamado *câmbio.*

A existência do *câmbio* possibilita o *crescimento secundário em espessura,* dos feixes, o câmbio fornecendo novos elementos floemáticos para fora e lenhosos para o interior (floema e lenho secundários) (fig. 74). Tal crescimento em espessura não pode se limitar aos próprios feixes; o parênquima que se encontra entre êles deve participar do crescimento; para isso forma-se entre os feixes um meristema secundário (vide pág. 94). As células parenquimatosas situadas entre os dois câmbios e que já tomaram caráter somático tornam-se novamente meristemáticas e sofrem divisões sucessivas, na mesma direção das do câm-

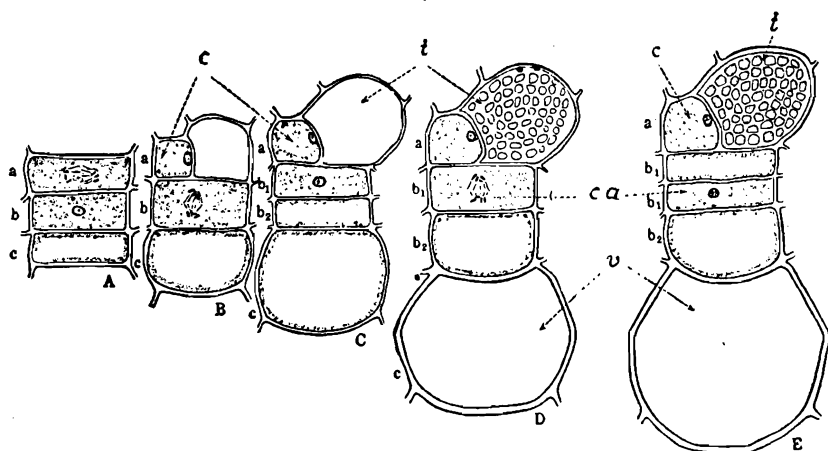



Fig. 74
Esquema, mostrando a atividade do câmbio, em corte transversal, em estados consecutivos: os elementos formados para o exterior (*a*) tornam-se vasos crivados e células anexas; os formados para o interior (*c*) formam vasos lenhosos. Os elementos médios (*b*) permanecem meristemáticos; *c*, célula anexa; *t*, vaso crivado; *ca*, célula cambial; *v*, vaso lenhoso. Seg. Holman and Robbins.

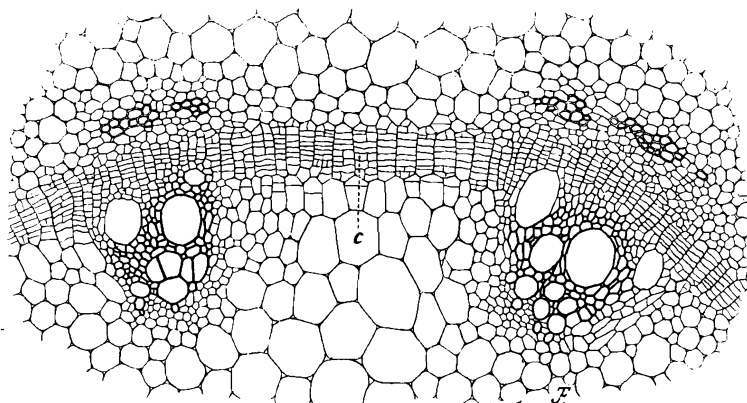



Fig. 75
Corte transv. do caule de Mamona (*Ricinus communis*): *c*, câmbio interfascicular, entre dois feixes. Orig.

bio (fig. 75). Estabelece-se assim um cilindro contínuo de câmbio, compondo-se de *câmbio interfascicular* entre os feixes e de *câmbio fascicular* nos próprios feixes. Êste representa um meristema primário porque desde o início conservou seu caráter meristemático; aquêle, como vimos, é uma meristema secundário. Mas, agora, todo o cilindro funciona de uma maneira homogênea fornecendo elementos lenhosos para o interior e crivados para fora (fig. 76).

Pela atividade do câmbio forma-se um cilindro lenhoso que cada vez mais aumenta em diâmetro. Ao mesmo tempo o câmbio é deslo-

cado para fora. O floema, que o câmbio forma, constitui um cilindro fechado que envolve o câmbio e o cilindro lenhoso. Pelo crescimento do interior do caule, em largura, a casca seria obrigada a aumentar o seu diâmetro o que só pode ser feito em pequena proporção. Assim, a casca é sempre novamente rompida, formando-se o *ritidoma* cujos fragmentos caem, sendo substituídos por novas formações (vide pág. 117).

O lenho. — Agora já podemos compreender a estrutura do lenho e das madeiras. Nos caules novos os feixes se unem para formar o cilindro contínuo, que acabamos de descrever. Êste modo de formação do lenho é característico para as *Gymnospermas* e *Dicotyledoneas*. —

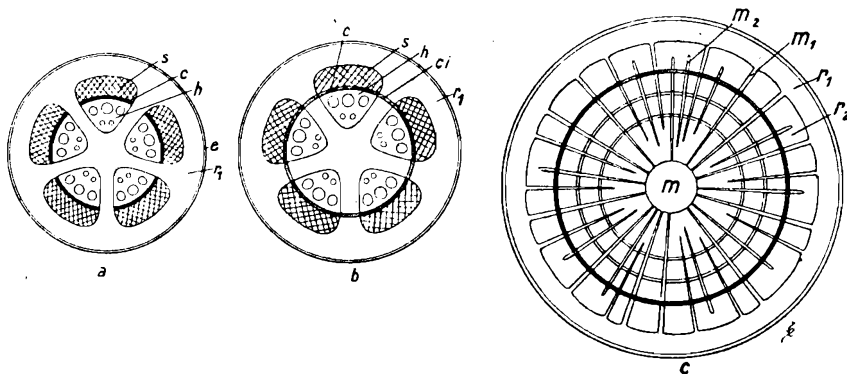



Fig. 76

Esquema representando o crescimento secundário em espessura, do caule de uma *Dicotyledonea*, corte transv.: *a*, os cinco feixes, ainda isolados; *b*, os cinco feixes já ligados pelo câmbio interfascicular; *c*, caule com mais de 3 anos; os feixes formam um único cilindro contínuo; *m*, medula; *h*, partes lenhosas; *s*, partes liberianas; *c*, câmbio fascicular; *ci*, câmbio interfascicular; r_1, casca primária; r_2, casca secundária; m_1 e m_2, raios medulares primários e secundários; *c*, epiderme. Seg. Hegi.

As *Monocotyledoneas* só formam lenho secundário excepcionalmente, seguindo outro processo de espessamento secundário (vide pág. 117). — Embora seja igual a maneira de formação do lenho na maioria das árvores, tôdas as espécies diferem na combinação e estrutura dos elementos do lenho. O exame microscópico permite, teòricamente (1), distinguir e classificar tôdas as espécies de árvores.

Assim, por exemplo, todo o grupo das *Gymnospermas* se distingue por não formar traquéias verdadeiras. Os vasos lenhosos consistem exclusivamente de *traqueídes,* células fibriformes, confinando por paredes oblíquas que terminam as fibras (fig. 77). Aqui não há, pois, reabsorção de septos transversais, nem formação de canais contínuos. A água, porém, deve filtrar sem grande dificuldade, pois algumas das árvores mais altas (*Sequoia gigantea*), pertencem a êste grupo (Coníferas).

Outra particularidade das Coníferas são as "*pontuações areoladas*" (2), visíveis na fig. 77 e detalhadamente na fig. 78. Vistos de cima

(1) Pràticamente a classificação de madeiras segundo a estrutura microscópica pode ser realizada em muitas partes do mundo; na América do Sul faltam ainda muitos dados.

(2) A palavra geralmente é derivada de área, podendo se pensar também em auréola.

os poros mostram uma aréola. No interior, perto da lâmina média, o poro é mais largo do que nas respectivas aberturas para o lúmen das células. A aréola da figura vista de cima é a circunferência da parte interior do poro, que transparece. O círculo, no centro, corresponde ao orifício da pontuação. A lamela média que fecha o poro é muito fina; só na parte central tem um espessamento, o chamado *torus*.

Fig. 77
Corte long. tang. do caule de Pinho de Riga (*Pinus silvestris*): *r.m.*, raio medular; *p.a.*, pontuações areoladas; *p.m.*, céls. vivas do raio medular; *t.m.*, céls. mortas (traqueídes « deitadas ») do raio medular. Orig.

A pontuação areolada funciona como uma válvula. No lenho intato a pressão hidrostática em tôdas as traqueídes é igual e geralmente será negativa, por causa da fôrça de sucção exercida pelas fôlhas (vide pág. 65 e segs.). No caso de lesão entra ar de fora, devido à pressão atmosférica. A pressão, que existe em tais células invadidas é maior; as membranas delicadas entre os poros serão movidas para a célula ainda intata, como mostra a fig. 78, *b*, o torus fechando então a pontuação. Como já vimos, a existência de bôlhas de ar impediria a condução da água nas traquéias e traqueídes. As plantas *Dicotyledoneas* também podem possuir pontuações areoladas, mas nunca tão regulares como nas *Gymnospermas* (fig. 69, pág. 100).

Como o lenho das Coníferas se compõe quase que exclusivamente de traqueídes, tem um aspecto muito homogêneo. A uniformidade, porém, é interrompida pelos *anéis anuais*. Em climas temperados, com inverno frio, ou em regiões onde periòdicamente há uma época sêca que obriga as plantas a sofrer uma fase de repouso, o crescimento em espessura pára durante a estação desfavorável. Antes de entrar em repouso, o câmbio fornece muitos ou poucos elementos tardios, que geralmente são mais espessados, servindo pròvàvelmente mais como te-

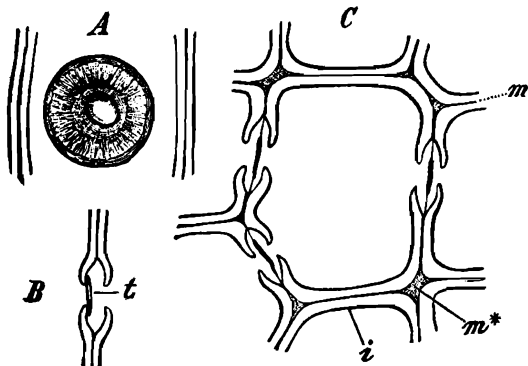



Fig. 78
Pontuações areoladas de *Pinus silvestris*: *A*, vista de cima; *B*, vista de perfil; *C*, traqueíde, corte transv.; *m*, lamela média; *m**, meato; *i*, camada celulósica; *t*, torus. Seg. Strasburger.

cidos mecânicos, do que como condutores, o *"lenho tardio"* ou *"estival"*, (nas Coníferas faltam aqui as pontuações). Na primavera, formam-se, de uma só vez, traqueídes com grande lúmen, provàvelmente condutoras d'água, para satisfazer à primeira necessidade (*"lenho primaveril"*).

Nos climas temperados onde existe uma estação de repouso bem marcada, os anéis anuais são bem nítidos, permitindo constatar no corte de uma árvore sua idade exata. Nos trópicos e subtrópicos, onde as árvores podem brotar durante o ano todo, os anéis anuais são menos nítidos ou desaparecem por completo.

Finalmente, observamos os *raios medulares* que atravessam radialmente lenho e casca. Em certos pontos, o câmbio, em vez de formar elementos lenhosos para dentro e floema para fora, fornece para os dois lados células parenquimatosas que não servem para condução da seiva bruta ou elaborada, mas, para troca de substâncias entre medula e casca. São fitas que percorrem de dentro para fora o tronco. Já quando o cilindro cambial se fecha, pela intercalação do câmbio interfascicular, êste mantém entre cada dois feixes uma comunicação parenquimática livre, que liga o parênquima do interior, que se torna medula, com o do exterior ou casca primária.

Fig. 79
Corte transv. do caule de cipreste (*Cupressus sempervirens*): no centro, limite dum anel anual; *l.e.*, lenho estival; *l.p.*, lenho primaveril; *r.m.*, raio medular. Orig.

Sendo sempre os mesmos elementos cambiais que continuam a formar células parenquimatosas, estas se dispõem em raios, os raios medulares. A árvore crescendo em diâmetro, logo não pode mais se contentar apenas com os *raios primários;* outros elementos do câmbio fascicular ou interfascicular passam também a formar raios, aquêles chamados *secundários,* que se vêem nas figs. 76 e 80. A fig. 79 mostra cinco células de um dêstes raios medulares, muito finos, característicos do lenho das *Coníferas.* No corte transversal do tronco (vide fig. 80) temos os raios medulares em todo o seu comprimento; o mesmo é válido para o corte longitudinal, radial. No corte tangencial os raios são cortados transversalmente. Na fig. 77 vemos dois raios medulares, cortados transversalmente. O da esquerda tem três células vivas, ao passo que as três terminais são mortas, servindo para condução de água na direção radial. Estas *"traqueides deitadas"* dos raios medulares são características para o gênero *Pinus.*

O lenho das *Dicotyledoneas* é mais rico em elementos diferentes. A fig. 81 mostra, num corte transversal, a região de um anel anual. O grande vaso *M* é uma traquéia formada na primavera. É ligada por pontuações com outras traquéias à direita. À esquerda encontra-se um raio medular, da espessura de uma camada de células. Para baixo, além do limite anual, seguem os elementos formados no ano anterior, distintos pelo lúmen menor. As células à direita (*t*) são traqueídes comunicando entre si por pontuações. As que não têm poros, ou são fibras esclerenquimatosas (*l*), que no lenho são chamadas fibras lenhosas, ou são células prosenquimatosas vivas, denominadas parênquima (vide rodapé pág. 102) lenhoso (*p*), caracterizadas por seu conteúdo em substâncias de reserva. Os mesmos elementos, no corte longitudinal, radial, assumem o aspecto da fig. 82.

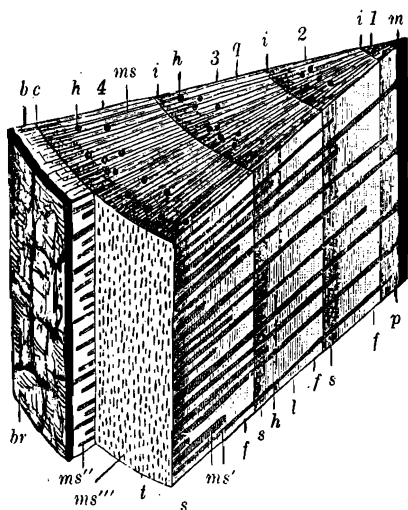



Fig. 80

Fragmento de tronco de 4 anos, de *Pinus silvestris* mostrando a estrutura, nos cortes: transv. (*q*), long.-radial (*l*) e long.-tangencial (*t*); *m*, medula; *p*, protoxilema; *f*, lenho primaveril; *s*, lenho tardio; *1*, *2*, *3*, *4*, os 4 anéis consecutivos; *ms*, *ms'*, *ms''*, *ms'''*, os diferentes aspectos dos raios medulares; *h*, canais resiníferos; *c*, câmbio; *b*, casca; *br*, ritidoma. Seg. Schenck.

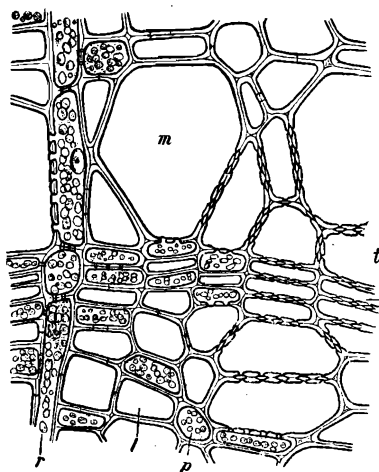



Fig. 81

Lenho de *Dicotyledonea* — *Tilia ulmifolia* — corte transv., mostrando o limite de um anel anual: *m*, traquéia primaveril; *t*, traqueídes formadas no ano anterior; *p*, parênquima lenhoso; *l*, fibra lenhosa; *r*, raio medular. Aument. 540 ×. Seg. Strasburger.

Muitas vêzes as grandes traquéias (na nomenclatura dos especialistas: "poros") encontram-se dispersas difusamente em tôda a extensão de um anel anual. (*"Lenho de poros dispersos"*). Outras vêzes, as plantas formam grandes traquéias só no lenho primaveril, ou, pelo menos, a maioria das traquéias aí se encontra, ao passo que traqueídes e fibras lenhosas dominam no lenho tardio. Neste caso, a estrutura anelar do lenho é mais acentuada do que no primeiro caso (*"Lenho com poros em anel"*).

As árvores podem alcançar uma idade muito avançada, podendo tornar-se seculares e, em casos raros, como as *Sequoias* citadas, até milenares. Os vasos do lenho e do líber funcionam, porém, sòmente durante um ou poucos anos, sendo substituídos sempre por novas formações do câmbio. Também as células vivas, o parênquima do lenho não conserva vida durante muito tempo. Passados alguns anos ou decênios, todos os elementos vivos do lenho morrem. O interior de um tronco é, então, inteiramente morto. A parte do lenho secundário que fica perto do câmbio, a parte nova, que possui ainda elementos parenquimatosos vivos, chama-se *alburno*. A parte mais central, que perdeu a vida, muitas vêzes se distingue por uma côr mais escura, sendo característica para as diferentes madeiras. Esta

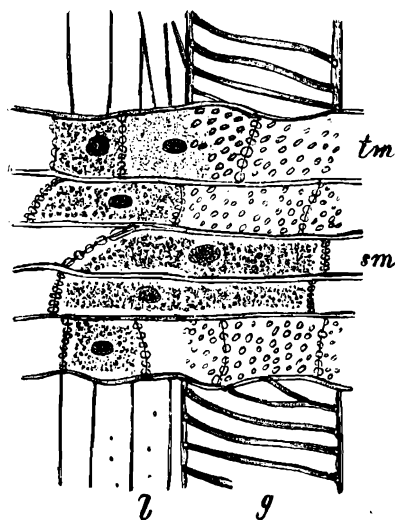



Fig. 82
Lenho de *Dicotyledonea* — *Tilia ulmifolia*. Corte long.-radial, vendo-se no primeiro plano um raio medular: *sm* e *tm*, células do raio medular, sendo as extremas (*tm*) ligadas por pontuações, com a traquéia *g*; *l*, fibras lenhosas. Aument. 240 ×. Seg. Schenck.

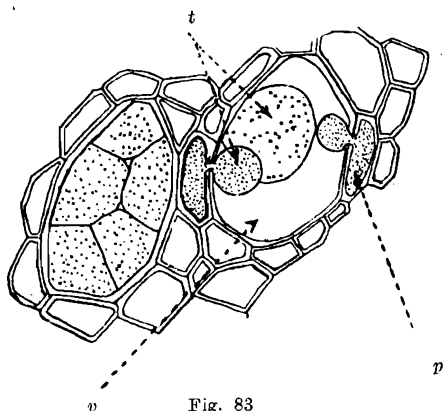



Fig. 83
Formação de tilas no lenho de *Robinia Pseudacacia*. Corte transv.; *t*, tilas; *p*, célula parenquimatosa; *v*, vaso. Seg. Holman and Robbins.

parte chama-se *cerne*. Antes de morrer, as células vivas transformam-se, secretando substâncias corantes (1), resinosas ou gomosas que impregnam a madeira. Muitas vêzes são substâncias antissépticas que impedem a decomposição dos elementos mortos. O cerne é pois, geralmente mais resistente, sendo atacado por poucos cogumelos, bactérias ou insetos. Assim se explica a grande duração do cerne, preferido para muitos fins na marcenaria.

As traquéias, antes de serem postas fora de função, freqüentemente são obturadas pelas células da bainha viva. Estas emitem algumas expansões que, através dos poros, crescem para o interior, como mostra a fig. 83. São chamadas *tilas* (2).

(1) Assim a *Brasilina* do pau-brasil (*Caesalpinia brasiliensis*) e a *Hematoxylina* do *Haematoxylon campechianum*, ambos da família das *Leguminosas*.
(2) *Thylla* — talvez do grego *thylas* = bôlsa.

Casca secundária. — Pela atividade do câmbio é formado para fora o *floema secundário.* A pressão que lògicamente se deve exercer sôbre as camadas exteriores comprime e põe fora de função os primeiros tubos crivados. Só os que ficam próximos do câmbio conduzem a seiva elaborada. Mais tarde, quando forem comprimidos, o seu lugar será tomado pelos elementos parenquimatosos que contêm, freqüentemente, amido e outras substâncias de reserva, cristais de oxalato de cálcio ou substâncias tânicas e alcalóides. Entre êles se encontram, muitas vêzes, fibras esclerenquimatosas, o *esclerênquima liberiano* (fig. 84).

Tipos divergentes de crescimento secundário em espessura. — O cilindro lenhoso de um tronco tem grande resistência para suportar o pêso da copa, formando uma coluna sólida. As *trepadeiras* que confiam à planta-suporte o trabalho de sustentar a sua copa, precisam, em vez de resistência ao pêso, uma grande resistência à tração e à deformação dos troncos delgados e flexíveis. Seu tronco se divide em várias partes que se comportam como êsses fios de aço ou de corda que compõem cabos ou amarras. Nas *Bignoniaceas* às quais pertencem muitas trepadeiras sul-americanas, o cilindro lenhoso pode ser subdividido, porque o câmbio em certa idade e em lugares determinados cessa de formar lenho (fig. 85), formando em vez disso, mais floema para fora. Outras vêzes, como nas nossas *Sapindaceas,* o cilindro cambial forma saliências que, finalmente, tornam-se novos cilindros inteiros, cada um com seu crescimento secundário em espessura. O resultado é o mesmo; o tronco a princípio único, por subdivisão mais ou menos completa, se fragmenta em vários troncos que compõem um cabo, cabo êsse que, pela sua estrutura é mais adaptado a sofrer trações, torções e deformações.

Fig. 84
Corte transv. da casca de *Tilia ulmifolia: v,* tubos crivados, com placa (v +): *c,* célula anexa; *p,* parênquima liberiano; *k,* cristal; *l,* fibras liberianas; *r,* raio medular. Aument. 540 ×. Seg. Strasburger.

As *Monocotyledoneas* geralmente não têm crescimento secundário em espessura. Muitas delas, como os Bambus e as Palmeiras contentam-se com os feixes que existem desde o começo, aumentando em diâmetro, como se supõe, só por aumento ulterior das células parenquimatosas. Algumas *Monocotyledoneas* formam, porém, troncos mais grossos, como as *Dracaenas,* conhecidas desde a famosa descrição de Humboldt da *D. Draco,* das ilhas Canárias. Nestes grupos excepcionais, for-

ma-se perto da periferia do tronco, na casca, um meristema secundário. Êsse câmbio forma novos tecidos só para o interior, tecidos êsses, que se constituem de elementos parenquimatosos e, entre êles, outros que se tornam feixes inteiros com lenho e líber (fig. 86). Aliás, os feixes nesse caso são de um tipo especial, concêntricos, com o líber no centro, rodeado de todos os lados por lenho.

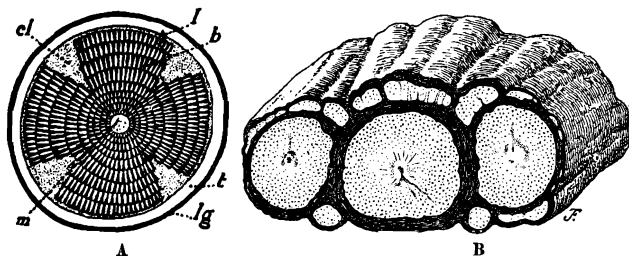



Fig. 85
Caules de trepadeiras: *A*, *Bignoniacea* (seg. Bonnier, ap. Gola, Negri e Cappelletti); *m*, medula circundada por 5 anéis de lenho normal; *cl*, cunhas de líber dividindo o lenho mais novo em 4 setores *b*; *lg*, suber; t, feloderma; *B*, *Sapindacea* (*Serjania* sp). Orig.

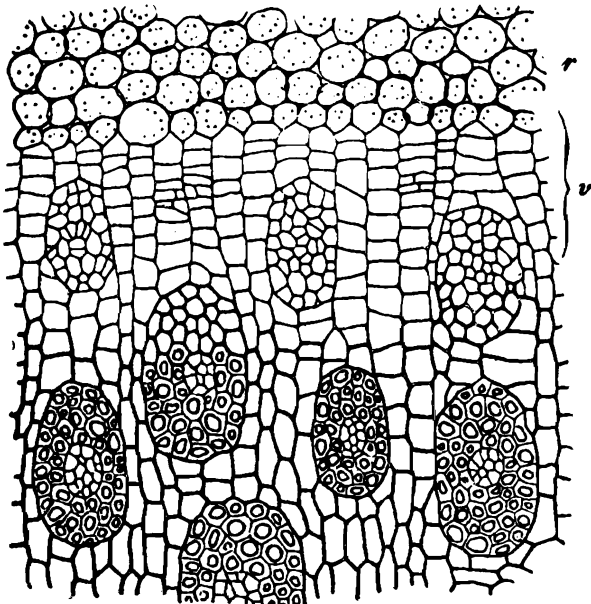



Fig. 86
Corte transv. parcial de um caule de *Dracaena marginata*; *r*, parênquima da casca; *v*, meristema secundário, formando para o interior parênquima e feixes inteiros. Seg. Haberlandt.

A disposição dos feixes nas raízes difere muito da nos caules (fig. 87). Tanto nas *Monocotyledoneas*, como nas *Dicotyledoneas*, na raiz os feixes se unem, formando o *"cilindro central"*. Neste, as partes lenhosas são dispostas como os raios de uma roda. Alternando com elas, se encontram as partes liberianas. No centro pode haver uma medula pa-

renquimatosa. Na periferia, o cilindro central é limitado por duas camadas envolventes, o *periciclo* e a *endoderme*, sôbre cujas funções vide pág. 143. Nas *Dicotyledoneas* a raiz tem crescimento secundário em espessura. Entre as partes lenhosas e liberianas é intercalada uma camada cambial de forma estrelada, como mostram as figs. 87 e 88. Esta forma lenho secundário nos lugares opostos às partes liberianas e nas mesmas zonas forma para fora o floema secundário. Assim, desaparecem os contornos inicialmente estrelados; o cilindro cambial continua agora a formar, em todo o seu redor, os elementos secundários como o cilindro cambial do caule. Só a figura estrelada do protoxilema, no centro, revela em sua anatomia que se trata do lenho de uma raiz e não de um caule.

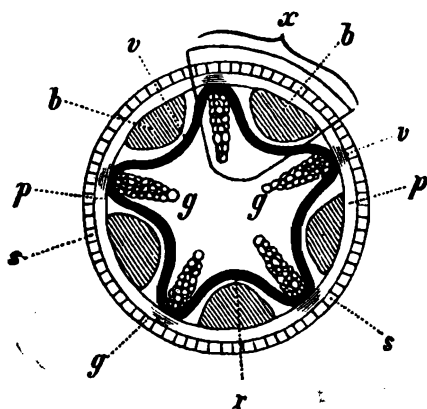



Fig. 87
Esquema do corte transv. do cilindro central de uma raiz de *Dicotyledonea:* *b*, líber; *g*, lenho; *v*, câmbio; *p*, periciclo; *s*, endoderme; *x*, setor apresentado em maior aumento na fig. seguinte. Seg. Haberlandt.

Além dos tipos mencionados de disposição dos feixes, há vários outros que, provàvelmente, derivam todos de um só tipo primitivo. Êste, a chamada *prostostele* (1), encontra-se, ainda hoje, em algumas

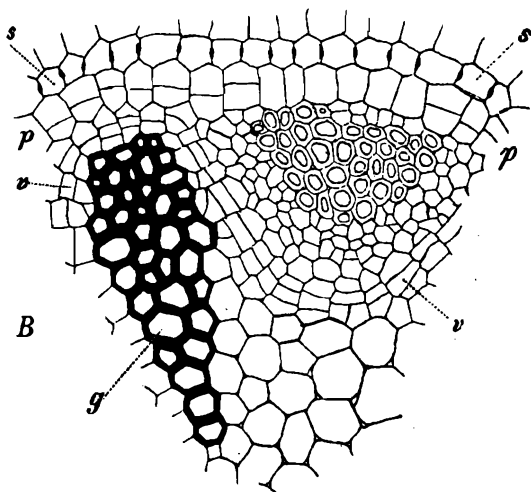



Fig. 88
Apresentação em maior aumento, do setor *x* da fig. precedente, com as mesmas indicações. Seg. Haberlandt.

(1) As designações da teoria estelar provém do grego: *estele*, de *stele* = coluna; *proto* = primeiro; *sipho* = tubo; *eu* = bem, perfeito; *actis* = raio; *meros* = parte; *atacto* = = sem ordem.

Filicineas recentes, especialmente nas plantinhas novas. O mesmo foi verificado em alguns fósseis, como os *Lepidodendrons* carbonianos. Temos aqui, no centro, o xilema rodeado pelo *floema*. Formando-se no interior uma medula, temos a *sifonostele*. Podemos imaginar como se formou por fragmentação desta última, o ciclo *eustélico* das *Dicotyledoneas*. Muitas vêzes, nas *Filicineas*, a estele primitiva forma reentrâncias, dividindo-se, finalmente, por estrangulamento, nos pontos de onde saem as fôlhas. Chegamos, assim, à *polistele* ou à *actinostele;* na última a divisão se relaciona só com o xilema. Êstes dois tipos existem ainda hoje nas *Filicineas*. Na actinostele reconhecemos, também, o caso das raízes. As partes da polistele (as meristeles) indicam sua origem por estrangulamento, sendo concêntricas e tendo *floema* por fora. A *atactostele* das *Monocotyledoneas* poderia derivar da eustele, por multiplicação dos cilindros de feixes, o que se conhece em várias *Dicotyledoneas*. Poderia também derivar da polistele (fig. 89). Pelo nosso esquema, apenas indicamos o problema que é tratado em várias teorias e hipóteses.

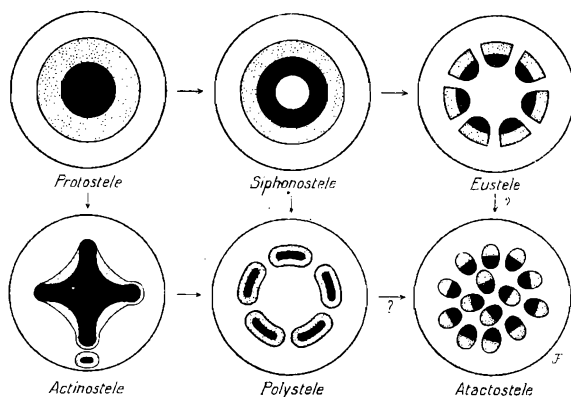



Fig. 89
Tipos de esteles: lenho em prêto, líber em pontuado. Orig.

c) Tecidos mecânicos

Junto dos elementos condutores já temos encontrado células e tecidos mecânicos, nas fibras *esclerenquimatosas*. Formam uma bainha ao redor dos feixes fechados ou encontram-se esparsos no lenho e no líber. Às vêzes, compõem feixes mais ou menos independentes (fig. 90), como se vê no corte da fôlha do linho da Nova Zelândia muito cultivado em jardins, cujos bordos não podem ser rasgados porque contêm um cordão compacto de tal esclerênquima. Também os feixes que percorrem a fôlha são incluídos numa bainha dêsses elementos que se estende da epiderme superior até a inferior, e, além disso, o clorênquima contém cordões independentes (fig. 91).

Colênquima. — As fibras esclerenquimatosas só solidificam as partes adultas. Para reforçar tecidos em crescimento, a natureza criou o *co-*

lênquima, constituído por um outro tipo de células. As células colenquimatosas reforçam-se por espessamentos só nos cantos, onde as células confinam (fig. 92). Assim, há geralmente três células que colaboram, transformando os cantos comuns numa como que nova fibra. Entre os cantos reforçados, as membranas permanecem finas, capazes de crescer e, especialmente, de acompanhar o aumento em diâmetro do caule. Tais tecidos são muito comuns na periferia dos caules novos; sobressaem pelo brilho das partes reforçadas.

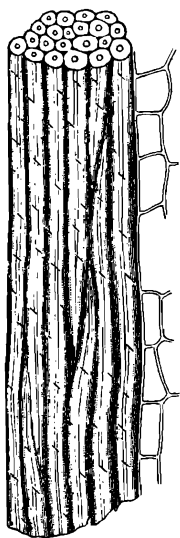



Fig. 90
Um feixe de fibras esclerenquimáticas, esquematizado. Seg. Tschirch e Jost.

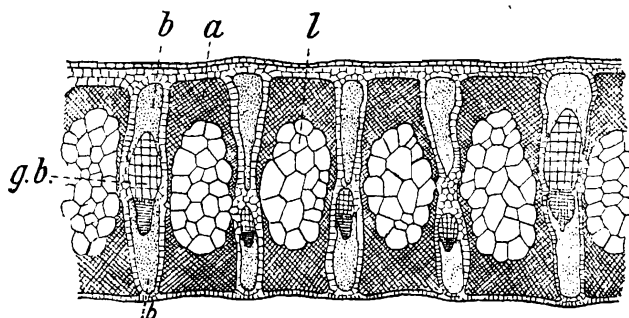



Fig. 91
Parte da fôlha do Linho da Nova Zelândia (*Phormium tenax*), corte transv., esquema: *b*, esclerênquima, acompanhando os feixes *g.b.*; *a*, parênquima assimilador, verde; *l*, parênquima aquoso. Seg. Miehe.

d) Tecidos tegumentários

Epiderme. — Os tecidos superficiais são formados, no início, pela epiderme. Como já vimos na página 55, a epiderme protege os outros tecidos, não tanto contra os perigos mecânicos, como contra os climatéricos, entre os quais o maior seria o dessecamento. Assim, as plantas aquáticas e as higrofíticas, como as partes subterrâneas das outras plantas, ou dispensam a epiderme, ou a têm pouco diferenciada.

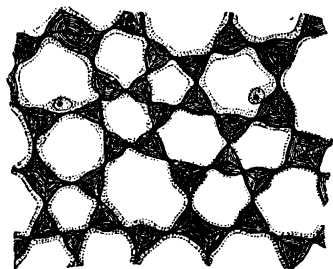



Fig. 92
Colênquima do caule de Abóbora, (*Cucurbita Pepo*). Corte transv. aument. 240 ×. Seg. Strasburger.

Ao tratar da transpiração, já salientamos o papel da *cutícula* que reveste, como uma película comum, o lado exterior de tôdas as células que compõem a camada epidérmica. Também estudamos, nessa ocasião, os estômatos que fazem parte integrante da epiderme. Aprendemos, finalmente, que nem os estômatos fechados podem fazer parar por completo a transpiração, escapando sempre uma fração de vapor d'água pela cutícula; foi necessário distinguir a transpiração es-

tomática dà cuticular. Também já foi exposto como as plantas xerófitas podem reforçar a epiderme, formando uma ou várias camadas hipodérmicas e como podem proteger os estômatos, limitando-os só ao lado inferior da fôlha, cuja lâmina, muitas vêzes pode ser, além disso, enrolada; figuramos também as covinhas, onde em certos casos como na espirradeira, os estômatos estão abrigados.

A superfície da epiderme pode ser munida de várias formações. Na cutícula podem formar-se *excreções graxas* ou *cerosas,* em forma de gotículas ou de bastonetes, caso êsse muito bem ilustrado pela cana-de-açúcar (fig. 93). A cêra da Carnaúba (*Copernicia cerifera*) também é uma formação dêsse tipo.

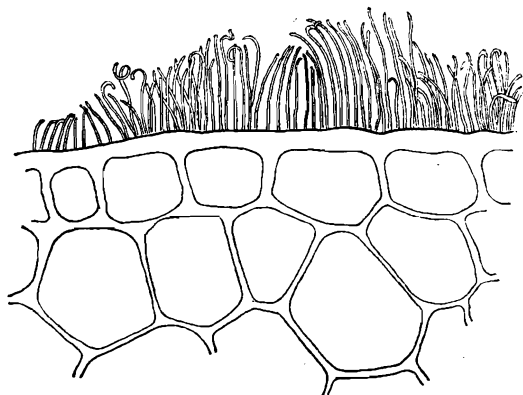



Fig. 93
Epiderme de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*). Os bastonetes de cêra são excretados através da cutícula. Seg. Strasburger.

Muitas vêzes as células epidérmicas formam saliências ou *pêlos* (fig. 94). Os pêlos podem ser simples, unicelulares, septados e ramificados e até estrelados (fig. 95). Entre os pêlos mantém-se uma camada de ar mais ou menos isolada, na qual a humidade pode ser maior e o efeito da ventilação é diminuído.

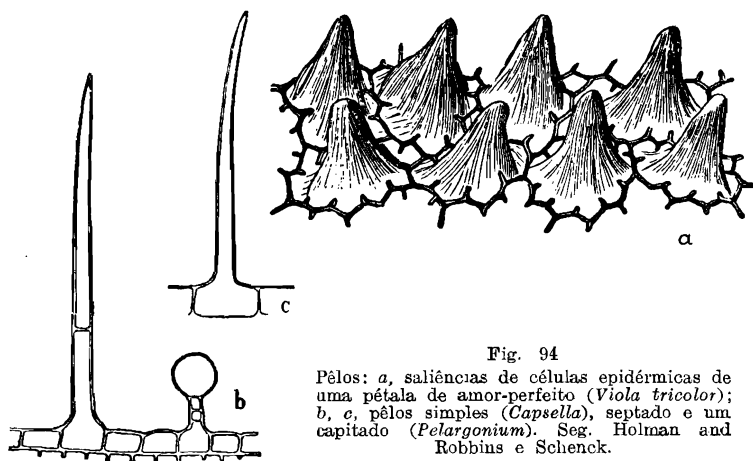



Fig. 94
Pêlos: *a,* saliências de células epidérmicas de uma pétala de amor-perfeito (*Viola tricolor*); *b, c,* pêlos simples (*Capsella*), septado e um capitado (*Pelargonium*). Seg. Holman and Robbins e Schenck.

Além da proteção contra a evaporação excessiva, os pêlos podem ser úteis também em outros sentidos: podem desviar e refletir os raios solares, tornando a luz difusa; a superfície da fôlha então parece mais

ou menos branca. Às vêzes, a camada de pêlos protege contra o humedecimento; o ar é bem retido entre os pêlos, chuva e orvalho não podem entrar. A obstrução dos estômatos pela água impediria a troca de gases. Assim, muitas fôlhas têm um revestimento de pêlos, justamente do lado inferior e às vêzes limitando-se aos lugares onde ficam os estômatos e as covinhas (fig. 28, pág. 60). (Aliás o revestimento de cêra da cutícula, muitas vêzes, serve ao mesmo fim).

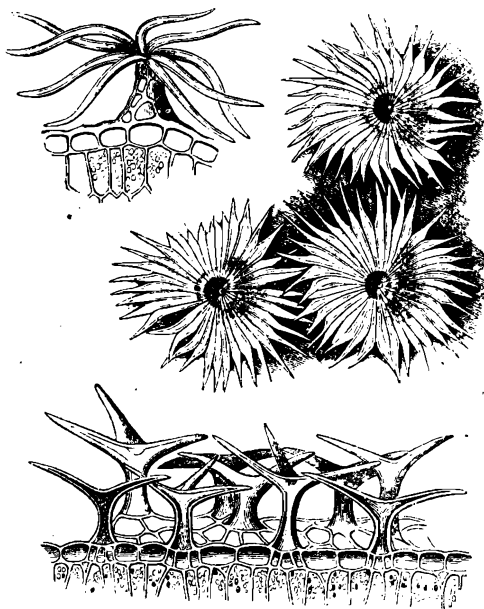



Fig. 95
Pêlos estrelados de *Correa speciosa*, *Elaeagnus angustifolia* e *Aubrietia deltoidea*. Seg. Kerner.

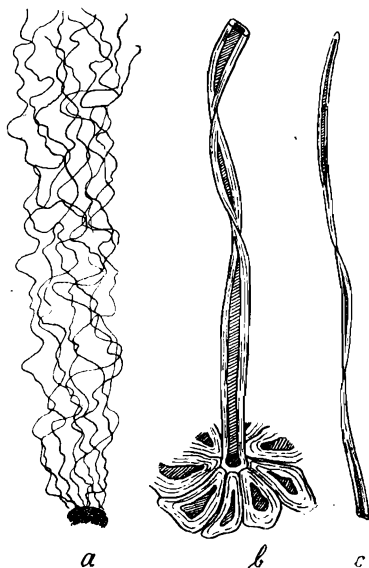



Fig. 96
Pêlos da semente de algodão (*Gossypium sp.*): *a*, com um fragmento da casca aument. 2×; *b*, parte basal; *c*, parte superior, aumento 200×. Seg. Strasburger, modificado.

Conhecem-se também, os pêlos que contêm substâncias tóxicas como os da Urtiga (*Urtica*) que protegem as fôlhas contra ataques de animais.

Outra função desempenham os pêlos de várias sementes como do gênero *Gossypium* (algodão). Nesse caso os pêlos muito compridos envolvem a semente como um floco; arrastada pelo vento a semente se mantém flutuando no ar, o que facilita sua disseminação a longas distâncias (fig. 96).

Súber. — A epiderme só protege órgãos e tecidos relativamente novos. Quando se dá o crescimento em espessura, como já vimos, a casca primária e com ela a epiderme é rompida. A planta logo precisa de novos tegumentos. Êstes são formados por meristemas novos, secundários, que se formam perto da periferia. Muitas vêzes são as próprias células epidérmicas, outras vêzes é a primeira camada hipodérmica e finalmente pode ser uma camada mais interior que se transforma em meristema secundário. Essa transformação se dá de maneira análoga à formação dos câmbios interfasciculares: as células tornam-se meristemáticas, dividem-se

longitudinalmente formando membranas em direção tangencial. Nascem assim fileiras radiais de células novas que desta vez são formadas quase exclusivamente para o exterior. A fig. 97 mostra, dos dois lados, êste *felogênio* (1) como chamamos a camada geradora (*ph*). As células que forma para o exterior ficam ìntimamente ligadas entre si, sem deixar espaços intercelulares, e impregnam as suas membranas com substâncias graxas como a *suberina,* que se parece com a cutina e como ela, impermeabiliza as membranas. Depois de suberificadas, as células morrem, muitas vêzes enchendo-se de ar. Êste *súber* pode alcançar grande espessura como no Sobreiro, (*Quercus suber*), árvore mediterrânea, cultivada, que fornece a cortiça industrial.

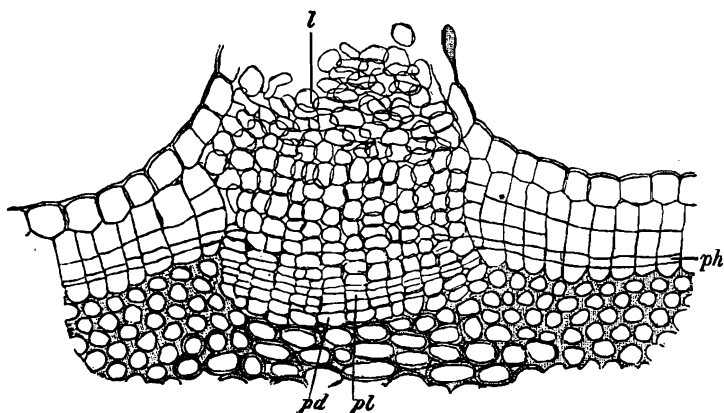



Fig. 97

Lenticela de Sabugueiro *Sambucus*, cultivado nos jardins; *ph*, felogênio; *pl*, felogênio na região da lenticela, formando para fora células sôltas que já romperam a epiderme (*l*) e para dentro poucas células felodérmicas (*pd*). Aument. 90 ×. Seg. Strasburger.

O súber protege as plantas não só contra a evaporação, mas também forma como que um manto isolador contra o calor dos raios solares que aqueceriam demais as células vivas do floema e do câmbio. Muitas plantas dos campos brasileiros mostram camadas espêssas de *súber*.

A planta porém não pode deixar de manter passagens livres através dessa capa impermeável. Assim se formam em vários lugares (geralmente sob estômatos da primitiva epiderme) as *lenticelas*. Nestes lugares os derivados do felogênio não são ligados ìntimamente, arredondam-se deixando entre si espaços intercelulares que comunicam entre si e com o interior do órgão; assim entra o oxigênio necessário para a respiração.

Ritidoma. — Logo depois da formação do súber, a epiderme, rompida, cai. Também os primeiros elementos do súber não permanecem muito tempo; pelo crescimento em espessura do caule são condenados

(1) *Phellogenio*, do grego: *phellon* = cortiça, súber

a cair também, sendo substituídos por novos. O felogênio pode, por intercalação de novas membranas radiais, acompanhar o aumento da periferia e conhecem-se árvores que durante tôda a vida contentam-se com o primeiro felogênio formado (p. ex., as faias, *Fagus silvatica* e *F. americana*). Mas, geralmente, também o felogênio depois de algum tempo perece formando-se novos felogênios no interior até da casca secundária. Com a suberificação dos seus derivados, cada vez são separados do interior novos tecidos que perdem a possibilidade de vida. Assim, caem fragmentos da casca formando escamas finas ou grossas, oblongas ou em anéis, cuja forma é característica para cada espécie de árvore e que obedece às modalidades da formação dos felogênios secundários, terciários, etc. O conjunto dessas partes mortas da casca chama-se *ritidoma* (1).

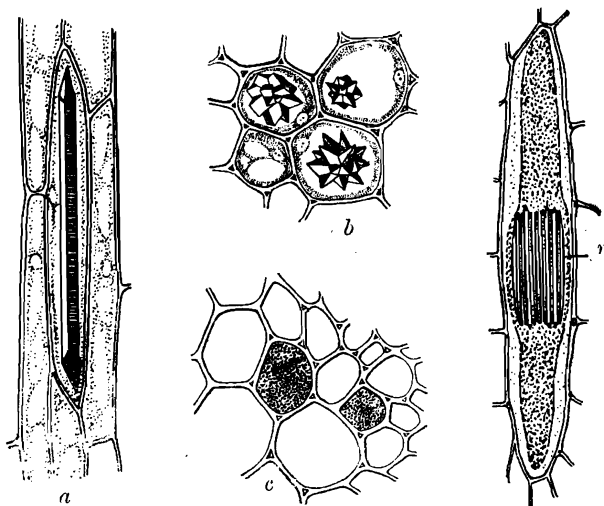



Fig. 98
Oxalato de cálcio: *a*, cristal isolado; *b*, drusas; *c*, granulações; *r*, pacotes de ráfides. Seg. Hegi e Schenck.

e) Células e tecidos secretores e excretores

Finalmente, temos que mencionar as células e os sistemas de células que secretam e excretam substâncias, tecidos êsses que se encontram espalhados em outros sistemas de tecidos. Quando uma substância fôr eliminada, já não mais podendo ser empregada no metabolismo da planta, fala-se de excreção; no caso de simples segregação, falaremos só de secreção. Nas plantas, entretanto, muitas substâncias excretadas não saem do organismo vegetal, sendo depositadas em bôlsas e canais especiais. Nesse caso é difícil distinguir o que é secreção e o que é excreção; a nossa distinção será, portanto, mais teórica do que prática.

(1) *Rhytidoma*, do grego: *rhytis* = ruga, dobra; pelo aspecto « rugoso » da casca exterior.

Muitas vêzes são células isoladas que incluem substâncias, assim afastadas do metabolismo geral. Muito freqüente é o *oxalato de cálcio* que se encontra em forma de cristais, isolados, agregados ou interpenetrados, formando drusas ou feixes de agulhas chamadas *ráfides* (fig. 98).

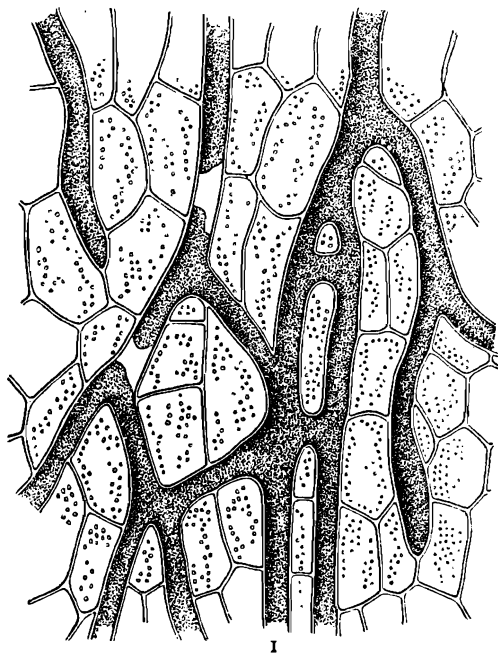



Fig. 99
Tubos lactíferos no corte long. do caule de *Lactuca virosa*. Seg. Kerner.

O papel do oxalato de cálcio, tão freqüente nos tecidos vegetais, ainda é duvidoso. Talvez o cálcio neutralize o ácido oxálico que é formado durante o metabolismo e que é prejudicial à planta. Os cristais, especialmente as ráfides, podem também proteger as plantas contra pequenos animais, como lesmas, ferindo os órgãos bucais (fig. 98). Aliás, há casos em que a planta dissolve novamente os cristais, evidentemente para utilizar-se dessas substâncias.

Outras substâncias secretadas são *mucilagens, gomas, resinas,* etc. De grande importância é o látex, que representa uma emulsão composta de gotículas de resina, goma, gordura, dispersas numa solução aquosa. As células que formam e contêm tais soluções são longas, formando geralmente verdadeiros tubos que, às vêzes, se ramificam e dão origem a anastomoses (fig. 99). Ferido o vegetal, êsses sistemas deixam sair o látex que, em contato com o ar, coagula e fecha a ferida. A indústria aproveita a elasticidade dêsses produtos. Entre as plantas produtoras de borracha, podemos mencionar as figueiras (*Ficus elastica, Moraceae*), as *Euphorbiaceas,* como a Seringueira (*Hevea brasiliensis*),

a Maniçoba (*Manihot Glaziowii*) e a Mangabeira (*Hancornia speciosa*), que faz parte das *Apocynaceae*.

Outras vêzes, há grupos de células que se transformam em bôlsas, como nas fôlhas e nos frutos das laranjeiras, bôlsas essas que contêm essências oleosas. A formação da bôlsa pode se dar por dissolução das membranas entre as células, formando-se um espaço *lisígeno* (1) (fig. 100).

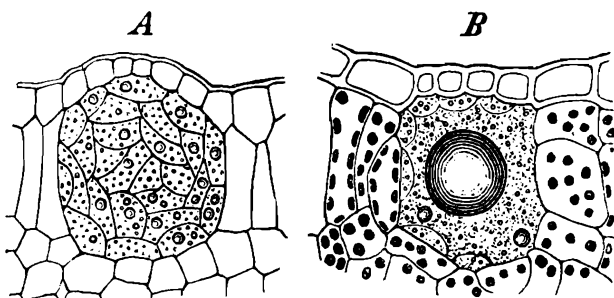



Fig. 100
Bôlsa lisígena contendo essência, da *Rutacea Dictamnus Fraxinella*, em cortes transversais da fôlha: *A*, jovem; *B*, adulta. Seg. Rauter ap. Strasburger, Lehrbuch.

Outras vêzes, as células separam-se e afastam-se, deixando entre si um espaço intercelular que, desta vez, se chama *esquizógeno* (2) (fig. 101). As células então formam um "epitélio" e secretam as substâncias para o interior. No caso da fig. 101 trata-se de uma bôlsa esférica; muitas vêzes formam-se, da mesma maneira, grandes tubos e canais, como os *vasos resiníferos* que se encontram no lenho, na casca e no parênquima folhear de muitas *Coníferas* (vide fig. 80, pág. 108). A resina contida nêles serve, como o látex, para fechar feridas. As resinas são, muitas vêzes, antissépticas, servindo para fabricação de vernizes, etc. Os antigos egípcios empregavam, para mumificação, entre outras, a resina da *Conifera Callitris quadrivalvis*.

Fig. 101
Bôlsa esquizógena, com uma esfera de essência, em corte transversal da fôlha de *Hypericum perforatum*: *s*, epitélio secretor. Seg. Haberlandt.

Outras células, as *glandulares*, secretam substâncias para fora; geralmente são células ricas em citoplasma, com grande núcleo. Nos *pêlos glandulares* as substâncias excretadas, muitas vêzes saem da célula para encher o espaço entre a membrana celulósica e a cutícula que é levantada e finalmente rompida (fig. 102). Outras vêzes, as células glandulares formam *epitélios* que revestem a su-

(1) *Lysigeno*, do grego: *lysein* = dissolver.
(2) *Schizogeno*, do grego: *schizein* = fender.

perfície de órgãos, como os nectários que secretam o mel das flores. Há também glândulas que secretam água ou soluções aquosas de sais minerais. Finalmente, devem ser mencionadas as *glândulas das plantas insetívoras,* cujas substâncias proteolíticas servem para a digestão dos animais apanhados.

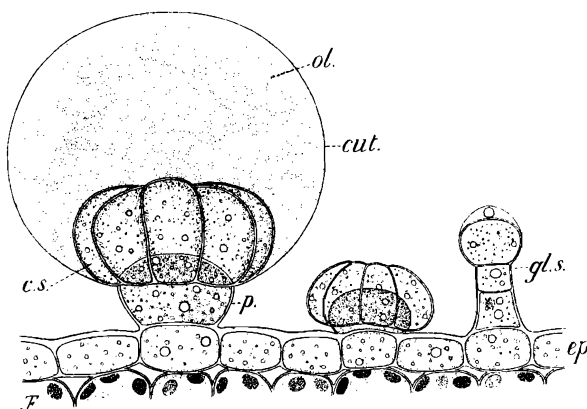



Fig. 102

Pêlos glandulares do «alecrim do Jardim» (*Rosmarinus officinalis*): *ep.*, epiderme; *p.*, célula pedal; *c.s.*, células secretoras; *ol.*, óleo; *cut.*, cutícula; *gl.s.*, pêlo glandular tricelular. Entre o pêlo pluricelular, à esquerda e o tricelular, à direita, vê-se um pêlo pluricelular, cuja cutícula rebentou, deixando escapar o óleo. Orig.

3. MORFOLOGIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS

A. Fôlha

Nos "traços gerais" vimos como a organização das plantas progrediu até a diferenciação de fôlhas, caules e raízes; vimos que, em muitos grupos, êsses órgãos ainda não são nìtidamente diferenciados.

Dos órgãos vegetativos merece a fôlha maior atenção, porque desempenha o papel mais importante no metabolismo — a *fotossíntese* —. A organização dos outros órgãos vegetativos obedece à necessidade de proporcionar às fôlhas as melhores condições de trabalho; a própria fôlha, em sua morfologia e anatomia, apresenta-se, em cada espécie, adaptada às condições do ambiente, sob as quais deve trabalhar.

As fôlhas nascem geralmente, de *maneira exógena,* nos caules ou ramos. A fig. 55 (pág. 91) mostra como são o dermatogênio e as camadas exteriores do periblema que formam os inícios das fôlhas. A fôlha é caracterizada por não ter crescimento indeterminado; mantém, pois, sòmente durante o estado mais novo, um meristema no ápice. Êste logo se transforma em tecido permanente, ao passo que a base folhear pode conservar por mais tempo o crescimento meristemático (*crescimento "intercalar"*).

Só nos fetos existem fôlhas com crescimento apical de longa duração; alguns, como o *Lygodium volubile,* freqüente nas matas brasileiras, têm crescimento indeterminado, comportando-se a fôlha como caule volúvel.

Uma fôlha completa possui, além do *limbo* ou *lâmina,* um *pecíolo* e uma parte basal que, muitas vêzes, desenvolve uma *bainha* e *estípulas* (fig. 103).

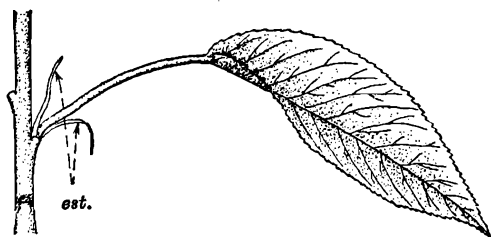



Fig. 103
Fôlha da Pereira (*Pirus communis*): *est.*, estípulas. Seg. Holman and Robbins.

A *bainha* que, em muitos casos, falta, em outros pode ter grande desenvolvimento, como nas Palmeiras, Bananeiras e, entre as plantas *Dicotyledoneas,* nas *Umbelliferas.* Como os gomos dos ramos laterais geralmente nascem nas axilas das fôlhas, a bainha nesse caso se torna a proteção dessas partes delicadas. Também o ponto vegetativo principal que está incluído no gomo final, é protegido ou pelas fôlhas novas inteiras que se fecham sôbre êle e o envolvem, ou pelas bainhas das fôlhas (fig. 104) que, especialmente nas Palmeiras e nas Bananeiras, formam no seu conjunto um cilindro ôco de grande espessura (isso aliás se demonstra em qualquer corte de palmito).

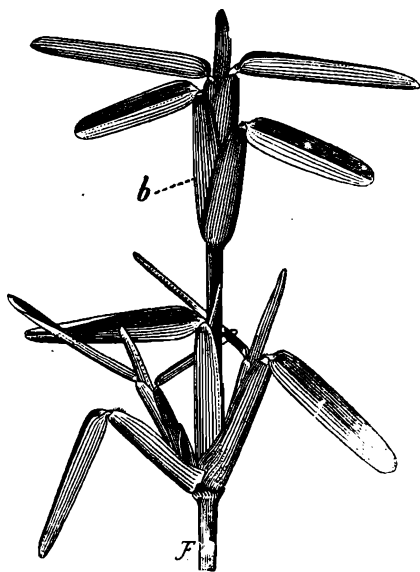



Fig. 104
Grama dos jardins (*Stenotaphrum americanum*): *b,* bainha protegendo os gomos terminal e laterais. Orig.

Muitas vêzes as *estípulas* desempenham função protetora, idêntica. Devemos notar que a base folhear se desenvolve mais ràpidamente do que o limbo; assim, as fôlhas novas já têm a bainha e as estípulas bem desenvolvidas. A hera miúda (*Ficus repens*) dos nossos jardins (fig. 105), como muitas outras plantas, tem o gomo terminal escondido entre as estípulas das fôlhas novas. Depois de se distenderem os internós e do desabrochamento dos limbos, as estípulas perdem a sua razão de ser e muitas vêzes não persistem.

Em outros casos, as estípulas assumem papéis diferentes: em algumas *Leguminosas* tornam-se espinhos; noutras, como na ervilha, onde o limbo se transforma em gavinha, as estípulas tornam-se verdadeiras lâminas assimiladoras (fig. 106).

Fig. 105
Hera miúda (*Ficus repens*): estípulas protegendo os gomos terminal e laterais. Orig.

O *pecíolo* conserva, por muito tempo, o crescimento e com êle a capacidade de fazer reações foto e geotrópicas. Veremos (pág. 160) como uma fôlha, desviada de sua posição normal, pode recuperá-la por tais reações. Conheceremos, então, também as articulações, transformações essas da base folhear que, em certos casos, facilitam tais movimentos.

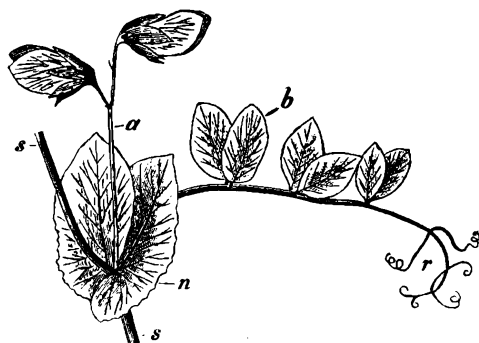



Fig. 106
Ervilha (*Pisum sativum*): fôlha parcialmente transformada em gavinha (*r*) com três pares de folíolos normais (*b*). As estípulas (*n*) tornam-se assimiladoras; *a*, pedúnculo da inflorescência; *s*, caule.
Seg. Schenck.

Na fig. 104 vemos a grama comum dos jardins brasileiros, o *Stenotaphrum americanum;* os pecíolos, que são intercalados entre bainha e limbo, são muito pequenos, mas são êles os responsáveis pela torção que volta os limbos para cima. Quando falta completamente o pecíolo, a fôlha chama-se séssil (fig. 108, *3, 9 e 10*), dispensando então a motilidade própria.

O *limbo* é a parte essencial da fôlha; constitui o sistema assimilador, em cuja organização tudo serve para o melhor aproveitamento dos raios solares, do ar e da água, necessários para a fotossíntese.

No caso típico, a *estrutura* é dorsiventral, o lado dorsal ou superior distinguindo-se bem do ventral ou inferior. Um corte transversal (fig. 107) mostra, entre a epiderme superior e a inferior, o *parênquima assimilador,* com tôdas as células cheias de cloroplastos. Do lado superior, as células se dispõem perpendicularmente à superfície, i. é, na direção dos raios solares principais formando o *parênquima paliçádico.* A posição normal dos cloroplastos é junto das paredes longitudinais, paralelas aos raios solares, de maneira que êstes não exercem sôbre êles tôda sua eficácia. Como já sabemos, a luz direta constitui um perigo para a clorofila. Nas fôlhas expostas à insolação intensa, o parênquima paliçádico se compõe de duas ou três camadas (fig. 27, pág. 59).

Mais para baixo, onde a luz já deve ser difusa, está o *parênquima lacunoso,* cujas células não apresentam uma orientação determinada. Aqui, as lacunas intercelulares são bem grandes, percorrendo tôda a

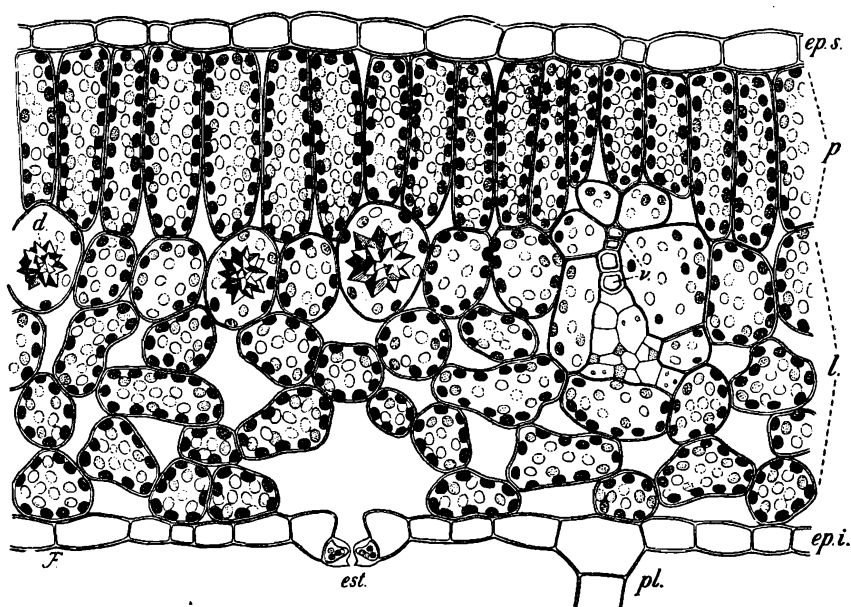



Fig. 107
Fôlha de « Saia branca » ou « Trombeteira » (*Datura arborea*) corte transv.: *ep.s.*, epiderme superior; *p.*, parênquima paliçádico; *l.*, parênquima lacunoso *v.*, vasos; *ep.i.*, epiderme inferior; *pl.*, pêlo; *est.*, estômato; *d*, drusa de oxalato de cálcio. Orig.

fôlha com um só sistema de aeração, em comunicação com os estômatos que, de preferência, se encontram dêste lado. Assim, é garantido na medida do possível o acesso de luz e de CO_2. Quanto à água, é conduzida pela rêde fina do sistema de feixes que compõem a nervura. Nestes, a parte lenhosa fica do lado superior ou dorsal (que, pela sua origem no ponto vegetativo, representa o lado interior). A estrutura que acabamos de esboçar é a da fôlha típica, que geralmente se coloca em posição perpendicular aos raios solares; há muitas fôlhas que tomam uma direção vertical, paralela aos raios solares, adaptação essa xerofítica, que se encontra freqüentemente nos trópicos. Nesse caso, a diferenciação do lado dorsal e ventral torna-se pouco nítida, até desaparecer quase completamente.

A *morfologia exterior* dos lìmbos mostra diferenças extraordinárias, podendo, se necessário, cada espécie de plantas ser reconhecida pelas suas fôlhas (1). A forma das fôlhas sempre está em correlação com as condições climatéricas do ambiente e assim se compreende a grande diversidade das formas que reflete a multiplicidade das condições, às quais as espécies estão sujeitas.

Já vimos (pág. 37) que a superfície grande de uma lâmina fina seria a mais adaptada para o aproveitamento da luz e do ar. As grandes superfícies acarretam porém, os perigos do vento, da transpiração e do aquecimento excessivos. Uma fôlha subdividida sofre menos com o vento e também o aquecimento é diminuído pela facilidade de ventilação. O fato de o vento geralmente rasgar as fôlhas das *Bananeiras* não é sem utilidade para estas; outras *Monocotyledoneas*, como as *Palmeiras*, adotam desde o início a fôlha dividida. Existe porém, um perigo: a ventilação aumenta a transpiração; para diminuir a transpiração cuticular, não há meio melhor senão o de reduzir tôda a superfície folhear.

Finalmente, muitas fôlhas têm aparelhamento especial para se desembaraçar da água de chuva, formando para isso uma ponta-goteira ou vários prolongamentos denteados.

Assim se compreende que existam, além das fôlhas *simples*, muitas fôlhas divididas i. é, *compostas*, que podem ser penadas (impari e paripenadas, bipenadas, etc.), palmadas ou digitadas; e ainda as fôlhas partidas e fendidas que representam a transição para a fôlha simples. Compreendemos, também, porque os bordos das fôlhas podem ser acuminados, denteados, crenados e sinuados (fig. 108). A diversidade das formas aumenta ainda pela *distribuição das nervuras*, que podem ser *paralelas*, o que é característico para as *Monocotyledoneas*, havendo, entretanto, algumas exceções. São geralmente *reticulares* nas *Dicotyledoneas*, possuindo então um ou alguns nervos principais, uma nervura marginal, etc.; finalmente existem os revestimentos de pêlos e de cêra já mencionados na pág. 115.

Divergências do tipo folhear. — As plantas que vivem em condições anormais formam fôlhas que divergem do tipo normal. Na pág. 61

---

(1) Assim os fragmentos e as impressões fósseis de fôlhas deixadas em camadas geológicas mais recentes, podem ser classificadas quanto ao gênero e — não raramente — a espécie.

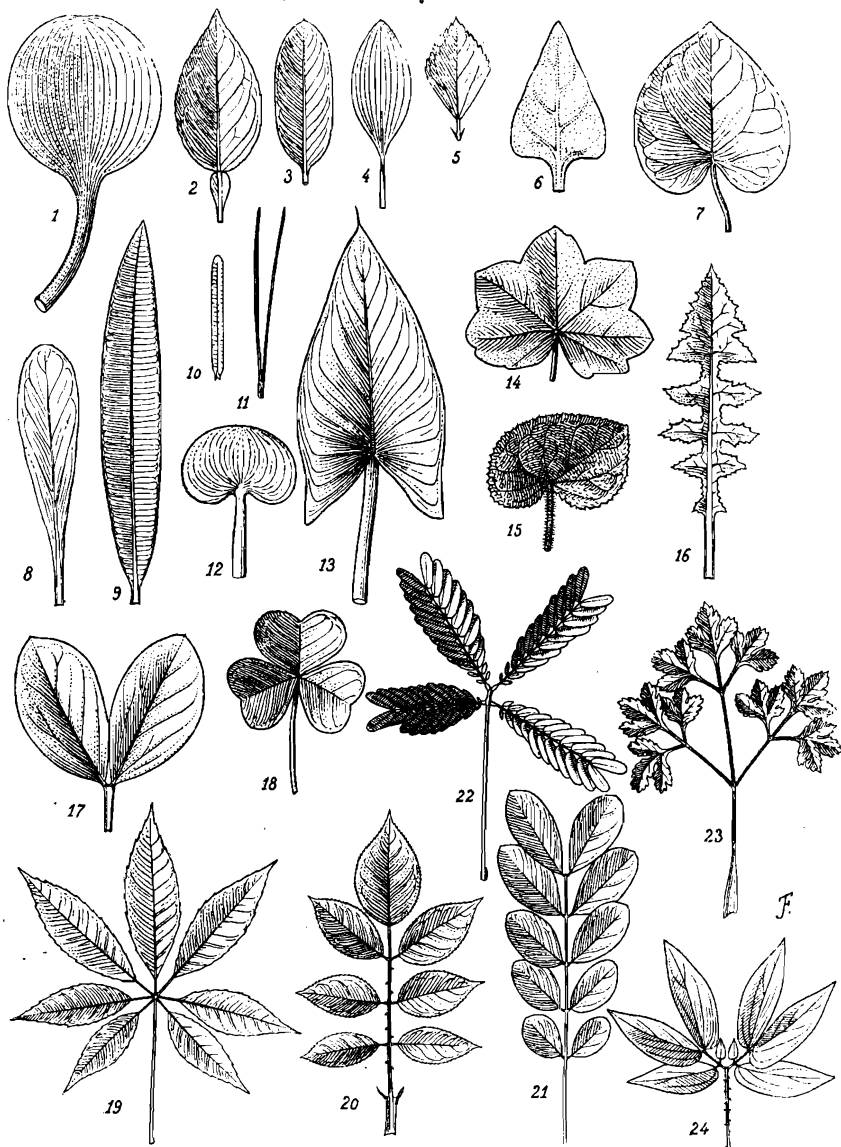



Fig. 108

Tipos de fôlhas: *1* a *16*. Fôlhas simples; *1*, Orbicular (*Eichhornia*); *2*, Oval (*Citrus*); *3*, Oblonga (*Vinca*); *4*, Elíptica (*Alstroemeria*); *5*, Rômbea (*Sida*); *6*, Deltoídea (*Tetragonia*); *7*, Cordiforme (*Calonyction*); *8*, Espatulada (*Gnaphalium*); *9*, Lanceolada (*Nerium*): *10*, Linear (*Rosmarinus*); *11*. Duas fôlhas aciculares de *Pinus; 12*, Reniforme (*Heteranthera*); *13*, Sagitada (*Zantedeschia*); *14*, Palmatilobada (*Pelargonium*); *15*, Assimétrica (*Begonia*); *16*, Partida (*Sonchus*); *17* e *18*, Fôlhas compostas; *17*, Germinada (*Vicia*); *18*, Trifoliolada (*Oxalis*); *19*, Digitada (*chorisia*); *20*, Imparipenada (*Rosa*); *21*, Paripenada (*Cassia*); *22*, Duplicadopenada (*Mimosa pudica*); *23*, Biternada (*Petroselinum*); *24*, Conjugadopenada (*Mimosa Velloziana*). Orig.

já nos referimos às *fôlhas xerofíticas,* que estão nessas condições. Uma variação que pode ser encontrada numa mesma árvore é a formação de fôlhas de sombra e de sol. Na sombra, as fôlhas são mais higromorfas (1), mais finas, com uma só camada de paliçadas, com cutícula delgada, etc. Na parte exposta ao sol, a mesma árvore produz fôlhas mais xeromorfas, com tecido paliçádico reforçado, cutícula espêssa, muitos estômatos que funcionam bem, etc.

As próprias plantas xerofíticas só desenvolvem fôlhas do último tipo, aumentando, muitas vêzes, os caracteres do xeromorfismo. As fôlhas das xerófitas extremas têm pequena superfície; freqüentemente são aciculares, possuindo, além da epiderme, uma hipoderme sólida e, no caso de plantas suculentas, guardam suas reservas de água num parênquima aquoso bem desenvolvido. Aliás, as fôlhas suculentas não são as que apresentam o melhor aparelhamento de proteção contra a sêca. Êste se encontra nas fôlhas duras, "esclerofilos" (2), de plantas que suportam a perda d'água sem sofrer e sem aparentar sinais de emurchecimento, graças à solidez de sua estrutura. Lembramos, aqui, o ótimo exemplo da fôlha do *Linho da Nova Zelândia,* com suas fitas esclerenquimatosas reforçadas (fig. 91, pág. 114). Seja também lembrado o que dissemos sôbre as fôlhas sempre ou periòdicamente enroladas (fig. 28, pág. 60). Entre os critérios morfológicos que distinguem a fôlha xeromorfa, incluímos também os revestimentos de cêra e de pêlos, mencionados na pág. 115 e, finalmente, o brilho que caracteriza as fôlhas de climas quentes. Nas regiões mais pobres em luz, as fôlhas são opacas, refletindo um mínimo de raios.

Falando da *fisiologia* (pág. 61) já dissemos que o xerofitismo além das propriedades morfológicas, abrange também as fisiológicas, como: o alto valor osmótico, o funcionamento rápido dos estômatos, a capacidade de suportar a perda d'água, etc. Contudo, tôdas as medidas de proteção não são suficientes para abrigar as plantas expostas aos excessos de um clima rigoroso. Muitas plantas dos desertos não têm fôlhas, assimilando só com a superfície reduzida dos caules. Outras deixam cair as fôlhas durante a época sêca. Para as plantas dos climas com inverno forte, êste constitui um perigo de sêca fisiológica (vide pág. 54). Muitas árvores se protegem, perdendo periòdicamente as fôlhas no outono. Outras, como a maioria das *Coníferas,* são "sempre-verdes", mantendo as fôlhas durante o inverno. Isto é possível porque sua folhagem é do tipo xerofítico.

A redução da superfície folhear deu origem a alguns casos excepcionais. Assim, várias Acácias suprimiram os seus folíolos, substituindo, em parte, a superfície perdida, por achatamento do pecíolo que, dêsse modo, toma a forma de uma fôlha, aliás mais resistente. Tais formações chamam-se *filódios* (3). Nos jardins, observamos, com freqüência, pés novos de Acácia cujas primeiras fôlhas ainda mostram os folíolos penados típicos dessa Leguminosa, ao passo que as fôlhas formadas mais

---

(1) Vide pág. 62.
(2) *Sklerophyllo,* do grego: *skleros* = duro; *phyllon* = fôlha.
(3) *Phyllodio,* do grego: *phyllon* = fôlha; *eides* = semelhante.

tarde mostram alguns tipos de transição (fig. 109). Na planta adulta, enfim, os filódios são destituídos de folíolos. Outras vêzes, são, como veremos (pág. 138), os próprios caules que podem achatar-se substituindo as fôlhas.

A *fôlha higromorfa* é caracterizada pela falta de tôdas as propriedades xerofíticas, ausência essa que pode levar até à supressão da epiderme, como nas *Hymenophyllaceas* (pág. 59).

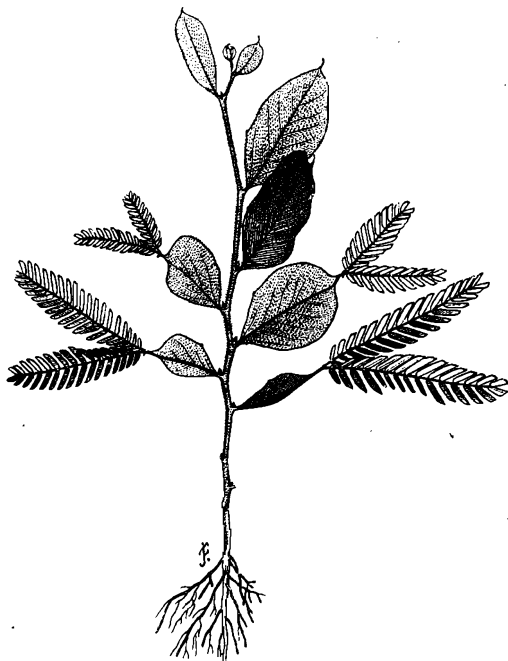



Fig. 109
Acacia podalyriaefolia freqüente nos jardins; planta nova mostrando a origem dos filódios. Orig.

A existência não rara de cêra e de pêlos, especialmente do lado inferior da fôlha deve ser interpretada como proteção contra o humidecimento. Para desembaraçar as fôlhas de um excesso de água podem servir às pontas-goteiras já mencionadas.

A *fôlha aquática,* submersa, distingue-se geralmente por uma forma que a torna apta a resistir ao impulso das correntes; tornam-se, assim, compreensíveis as fitas flexíveis que, muitas vêzes, apresentam; ou a subdivisão extrema que transforma a fôlha num como feixe de fios (fig. 110). As fôlhas flutuantes não mostram esta adaptação, apresentando, às vêzes, superfícies grandes, planas, que freqüentemente atingem diâmetros formidáveis, como na *Victoria regia* (1), que se protege contra o humidecimento pelos bordos elevados bem conhecidos. Neste caso, os estômatos se encontram do lado superior, em contato com o ar, porque a água é pobre em oxigênio e geralmente também em CO_2; esta escassez de gases n'água explica também o desenvolvimento grande da superfície das fôlhas submersas.

Heterofilia (2). — Êste fato mencionado da planta formar dois tipos de fôlhas diferentes chama-se heterofilia. Um caso de heterofilia pouco nítida é a diferença das fôlhas de sol e de sombra (vide pág. 127). Muitas vêzes, as fôlhas formadas na planta nova, diferem das da planta adulta, como na hera (*Hedera helix*) dos nossos jardins e do *Eucalyptus*

---

(1) Convém notar que, para as fôlhas flutuantes não existe o perigo do aquecimento excessivo, que, nas fôlhas aéreas expostas ao sol, exige uma subdivisão para facilitar a ventilação (vide pág. 125).

(2) *Heterophyllia,* do grego: *heteros* = diferente.

globulus, cultivado no Brasil. Nas *Selaginellas* e nos *Ciprestes*, as fôlhas inseridas lateralmente, muitas vêzes são bem maiores e diferentes das inseridas do lado superior do ramo (1). Os *cotilédones* que diferem muito das outras fôlhas, são também um caso de heterofilia. A fig. 111 mostra uma plantinha de feijão, onde não só os cotilédones, como também as primeiras fôlhas (*fôlhas primárias*) são mais simples do que as fôlhas compostas, típicas. Muitas vêzes, as primeiras fôlhas formadas apresentam um tipo filogenèticamente mais primitivo, como já mostrou o caso da *Acácia* (fig. 109).

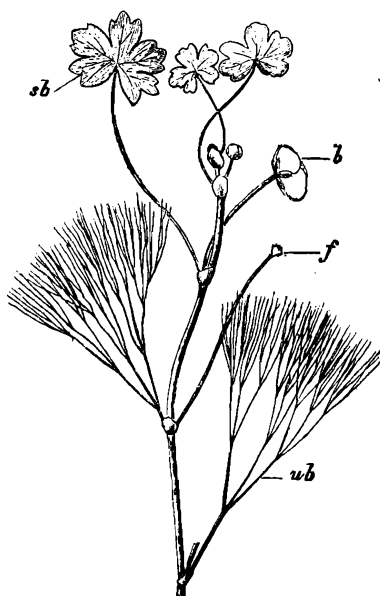



Fig. 110
Batrachium aquatile, planta aquática mostrando heterofilia: *ub*, fôlhas submersas; *sb*, fôlhas flutuantes; *b*, flor; *f*, fruto. Seg. Schenck.

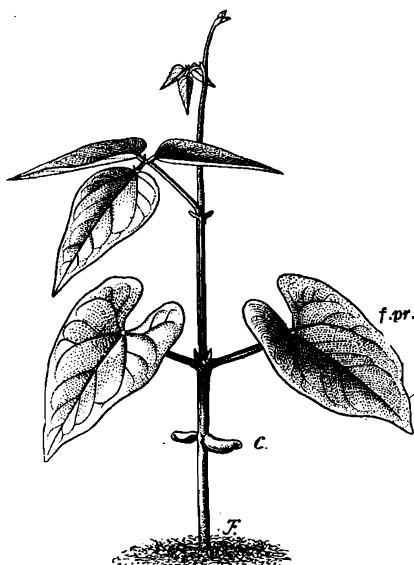



Fig. 111
Planta jovem de feijão (*Phaseolus vulgaris*): *c*, cotilédones; *f.pr.*, fôlhas primárias. Orig.

Catafilos e Brácteas. — O que é válido para a planta inteira, vale também para cada brôto. Especialmente, quando durante o verão desabrocham periòdicamente brotos novos, as primeiras e as últimas fôlhas formadas divergem do tipo geral. Nesse caso, cada brôto sai de uma *gema* ou gomo preformado no ano anterior. Abrindo-se êste, ficam na base os catafilos (2), dos quais os primeiros são simples escamas (fig. 112). Em seguida, há algumas formas de transição, com grande base folhear, grandes estípulas e pequeno limbo. Só então seguem as fôlhas típicas que, no caso da cerejeira não deixam reconhecer uma bainha, nem (no estado desenvolvido) as estípulas. O papel principal dos cata-

(1) Quando as fôlhas diferentes estão inseridas na mesma altura do ramo, a Botânica fala em *Anisophylia*, do grego: *an-isos* = des-igual. (Vide fig. 201, A, pág. 205).
(2) *Cataphyllo*, do grego: *kata* (preposição) indica a direção para baixo; *phyllon* = fôlha.

filos é a proteção do gomo durante o inverno. As escamas que, morfològicamente, são apenas bases folheares, envolvem o gomo por fora (fig. 113). No interior do gomo se encontram os folíolos normais, ainda pequenos e delicados; só suas estípulas são geralmente bem desenvolvidas, formando mais uma proteção para o interior do gomo. Aqui se repete o que vimos nos pontos vegetativos da *hera miúda* (pág. 123).

Terminado o verão, o brôto pára o seu crescimento, não sem deixar preparado o novo brôto destinado à primavera seguinte. Êste brôto permanece no estado de gomo; suas primeiras fôlhas novamente são escamas ou catafilos que devem envolvê-los. No interior possui já preformadas as novas fôlhas normais que só esperam a condução de água para desabrochar rebentando as escamas.

Fig. 112
Cerejeira (*Prunus avium*) — brôto novo; na base, o primeiro catafilo em forma de escama simples. Acima, duas fôlhas de transição, depois as normais, tudo saindo de um só gomo. Seg. Kerner.

Fig. 113
Gomos de inverno de Faia (*Fagus silvatica*): *kns*, escamas envolventes. Seg. Schenck.

Quando se trata de um botão fértil, êste contém também a inflorescência preformada com a qual termina.

Se na base os brotos começam com fôlhas anormais, os catafilos, muitas vêzes, terminam também com fôlhas reduzidas, as *brácteas*, isso no caso das inflorescências.

Cada flor normalmente sai da axila de uma fôlha, fôlha essa que pode ser normal, mas que geralmente é reduzida a bráctea. A fig. 114 mostra uma planta de "Muguet" (*Convallaria majalis*). Do rizoma subterrâneo, cada ano desabrocha um gomo terminal que, ao se abrir, deixa ver os catafilos (*nd*), e depois duas grandes fôlhas verdes, entre as quais sai a inflorescência com tantas brácteas quantas são as flores.

Catafilos e brácteas podem desempenhar papéis especiais. Assim, nas cebolas de alhos e lírios (fig. 128, pág. 140) os catafilos são órgãos de reserva, intumescidos, que formam no seu conjunto o bulbo esférico. As brácteas, muitas vêzes, tornam-se muito vistosas, tomando côr de flor e servindo, nesse caso, como as próprias pétalas de outras flores. As figuras

115 e 116 representam inflorescências da "Flor de papagaio" (*Euphorbia pulcherrima*) e da "Primavera" (*Bougainvillia spectabilis*), plantas freqüentes dos nossos jardins, que podem servir como ótimos exemplos.

Fôlhas coletoras. — Uma heterofilia muito interessante se encontra nas *plantas epífitas.* Estas, muitas vêzes confundidas com parasitas, só aproveitam o espaço da planta hospedeira. Quanto à alimentação são independentes, fa-

Fig. 115
« Flor de papagaio » (*Euphorbia pulcherrima*): inflorescência; as grandes fôlhas escuras (na natureza geralmente vermelhas) são brácteas; as flores são pouco vistosas. Orig.

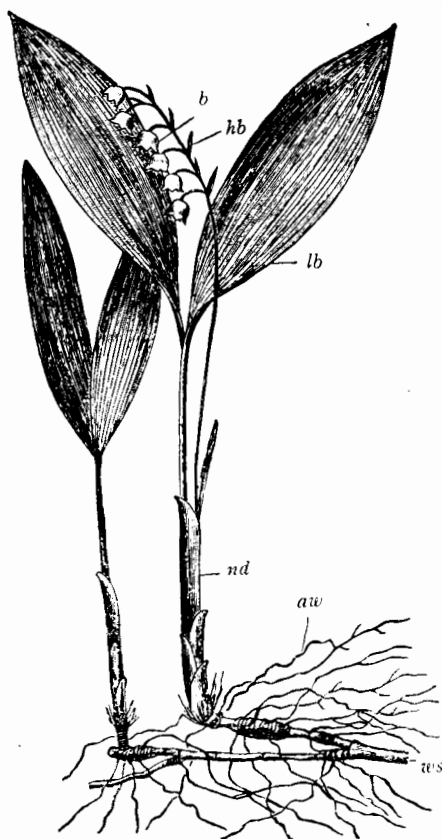



Fig. 114
« Muguet » (*Convallaria majalis*): *nd,* catafilos; *lb,* fôlhas normais; *hb,* brácteas; *b,* flor; *ws,* rizoma subterrâneo; *aw,* raízes adventícias. Seg. Schenck.

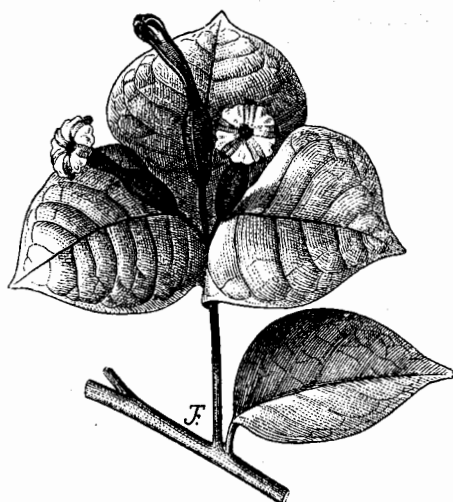



Fig. 116
« Primavera » (*Bougainvillia spectabilis*): 3 flores, (3 Marias) rodeadas por 3 brácteas roxas ou vermelhas. Orig.

zendo a fotossíntese e absorvendo pelas próprias raízes água e sais minerais. Para poder fazê-lo acumulam, às vêzes, em reservatórios especiais as substâncias húmicas e os detritos que caem das copas das ár-

vores. Assim, o *Platycerium,* feto epifítico das Índias, forma primeiro fôlhas coletoras que se aconchegam ao tronco, formando uma bôlsa. Em seguida se desenvolvem fôlhas bem diferentes, as fôlhas assimiladoras (fig. 117). As *Bromeliaceae* das florestas sul-americanas transformam a base de cada fôlha num canal, onde se acumulam água e substâncias de maneira análoga.

Fôlhas insetívoras. — Afamadas são as fôlhas das *Sarracenias,* transformadas em ascídios. É a parte inferior da fôlha que se transforma em tubo, munido de glândulas que secretam um líquido ácido, contendo enzimas proteolíticos (veja rodapé da pág. 44), proteases, que digerem os insetos caídos na armadilha. Para atraí-los existem glândulas de néctar no bordo superior; a saída é dificultada por pêlos dirigidos para o interior. As *Nepenthaceae,* plantas epifíticas das Índias holandesas, têm só a parte

Fig. 117
Platycerium alcicorne, feto epifítico das Índias: fôlhas coletoras e assimiladoras. 1/3 do tamanho natural.

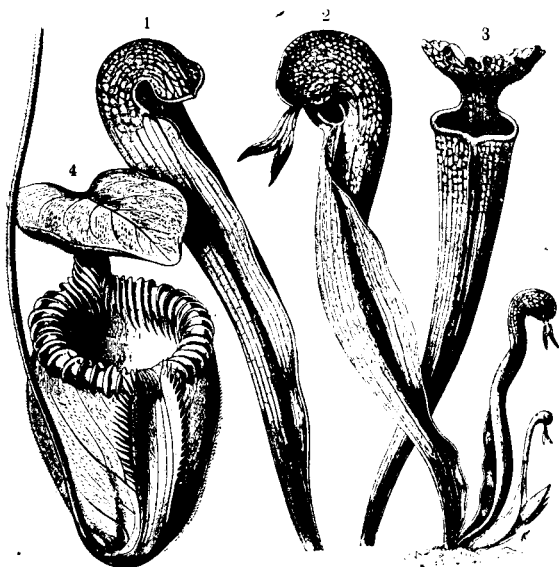



Fig. 118
Ascídios de plantas carnívoras; 1, de *Sarracenia variolaris;* 2, de *Darlingtonia Californica;* 3, de *Sarracenia laciniata;* 4, de *Nepenthes villosa.* 1/4 do tam. nat. Seg. Kerner.

apical da fôlha transformada numa jarra ou "ascídio" de função idêntica (fig. 118).

Outras fôlhas tomam parte mais ativa na captura de insetos. Assim, a fôlha da *Dionaea muscipula* (fig. 119), fecha-se abruptamente se fôr tocada do lado superior, especialmente onde se encontram as pequenas cerdas. As duas metades da fôlha se aproximam e as cerdas marginais se entrecruzam, formando-se uma espécie de gaiola.

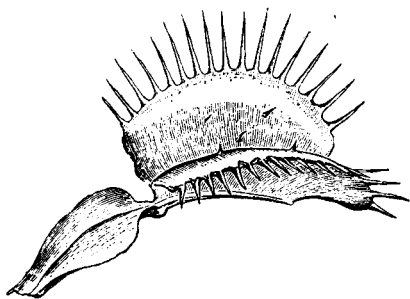



Fig. 119
Fôlha insetívora da *Dionaea muscipula*. Aument. 4 ×. Seg. Ch. Darwin.

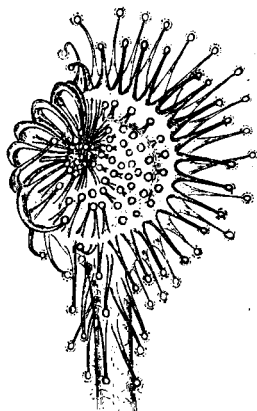



Fig. 120
Drosera rotundifolia; fôlha que pegou uma prêsa. Aument. 4 ×. Seg. Ch. Darwin.

O mecanismo do fechamento ainda não foi completamente esclarecido. Parece tratar-se de um mecanismo de turgescência. Antes da irritação, todos os tecidos da fôlha estão turgescentes, as paredes das células bem estendidas, isto é, tanto quanto o permite a pressão dos outros tecidos que compõem a fôlha. A irritação por contato, provàvelmente, causa uma diminuição repentina da turgescência dos tecidos do lado superior, especialmente nas proximidades da nervura central, diminuição essa que pode ser causada por uma reação do protoplasma que perde, temporàriamente, sua semipermeabilidade. Assim, desaparece o equilíbrio que existia entre os tecidos do lado superior e os do inferior. O tecido do lado inferior, que já não encontra mais resistência, distende-se bruscamente, fechando a fôlha. Encontraremos mecanismo parecido nas articulações das fôlhas das sensitivas (pág. 165).

A fôlha das *Droseras,* gênero bem representado no Brasil, reage mais vagarosamente (fig. 120). Os tentáculos secretam substâncias tão aderentes que os insetos, ao tocá-los, são presos. A excitação do contato causa uma curvatura dos tentáculos, relativamente lenta, provocada por crescimento desigual dos lados dos tentáculos. Dêsse modo, a prêsa é removida para o interior da fôlha, pondo-se em contato com um número cada vez maior de tentáculos, que por sua vez fazem o mesmo movimento. Também a lâmina folhear pode participar da curvatura. Como a substância secretada contém também proteases, o inseto é logo digerido, voltando, em seguida, os tentáculos à posição normal.

A fig. 121 representa, finalmente, as vesículas formadas por transformação parcial da fôlha submersa de uma *Utricularia* (1). Cada vesícula é fechada por uma válvula, móvel do lado em que é inserida e ligeiramente encostada do lado oposto. No interior da vesícula há glândulas que absorvem água contìnuamente, líquido êsse que, fechada a válvula, não pode ser substituído por nova água do exterior. Assim se dá uma invaginação das paredes, comparável à invaginação das nossas bochechas, quando fazemos o movimento de sucção. Um bichinho da água que toca a válvula ou os pêlos que a rodeiam, desloca-a; a água de fora entra com fôrça, provocando um redemoinho pequeno, mas bastante forte para arrastar e aprisionar a prêsa. A digestão se faz como nos casos antecedentes.

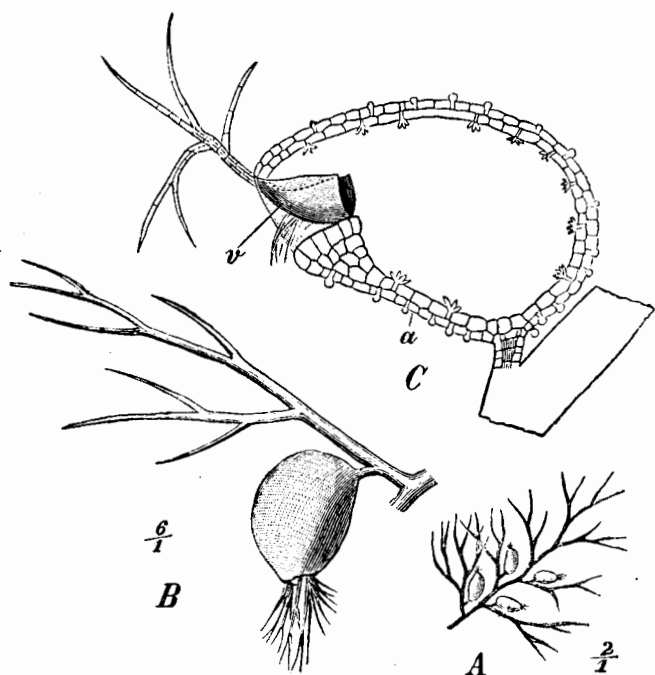



Fig. 121

Utricularia vulgaris: A, parte de uma fôlha; certos folíolos de segunda ordem são transformados em vesículas, aument. 2 ×; *B,* folíolo com vesícula, aument. 6 ×; *C,* corte long. da vesícula, no interior vêem-se as glândulas, aument. 28 ×; *a,* parede vesicular; *v,* válvula. Seg. Goebel e Schenck, ap. Strasburger, Lehrbuch.

Gavinhas. — As fôlhas podem ser parcial ou inteiramente transformadas em gavinhas, como as da ervilha, o que se pode compreender, sem mais comentários, observando a fig. 106 (pág. 123). Também as gavinhas têm irritabilidade por contato; aqui geralmente é o contato dum suporte que provoca curvatura e enrolamento da parte irritada, em di-

(1) Várias espécies de *Utricularias* — muitas com flores amarelas — se encontram nas reprêsas de São Paulo.

reção ao suporte. (Quanto à fisiologia interessante dêsse movimento, vide pág. 162).

Filotaxia. — A disposição das fôlhas no caule obedece a certas regras, às da Filotaxia (1). Se duas ou mais fôlhas saem na mesma altura do caule, falamos em posição *verticilada;* se forem dispostas isoladamente são *alternas.* Também neste caso a disposição é bem regular, a ligação das inserções das fôlhas consecutivas formando uma hélice que volteia o caule. A projeção da hélice num plano horizontal dá uma espiral, a *"espiral geratriz"* (fig. 122). Podemos ligar também as fôlhas superpostas verticalmente, por linhas que são chamadas *ortósticas* (2). Para chegar de uma fôlha de uma ortóstica à seguinte, superposta, da mesma ortóstica, a espiral geratriz deve fazer uma ou mais voltas. Neste caminho, pode encontrar um número diferente de fôlhas, variável segundo as espécies. Se a hélice faz uma volta e nela encontra três fôlhas, designamos a posição pela fração $^1/_3$ que exprime o ângulo de divergência entre duas fôlhas consecutivas na espiral (e na idade). Sendo precisas 2 voltas, que abrangem 5 fôlhas, a disposição é $^2/_5$. As disposições mais freqüentes são a dística (½), a trística ($^1/_3$) e as com o índice $^2/_5$, $^3/_8$, $^5/_{13}$ e $^8/_{21}$.

Fig. 122

Filotaxia: A, fôlhas opostas cruzadas; B, fôlhas alternas dísticas; C, fôlhas alternas, em 2/5. À direita, as projeções (diagramas), em C mostrando a espiral geratriz e os ângulos de divergência (1-2, 2-3, etc.). Orig.

Quanto às fôlhas verticiladas, são muito freqüentes os verticilos de 2

(1) *Phyllotaxia,* do grego: *phyllon* = fôlha; *taxis* = disposição, ordem.
(2) *Orthostiche,* do grego: *orthos* = direito; *stiche* = fileira.

fôlhas que neste caso ficam opostas; os pares consecutivos então alternam. Geralmente, o plano de inserção de um par é disposto perpendicularmente ao antecedente (fôlhas "opostas cruzadas"). Também quando há mais fôlhas, os verticilos alternam, de modo que as fôlhas do verticilo seguinte são inseridas acima dos intervalos do verticilo antecedente.

Por essa disposição se consegue que as fôlhas superiores roubem o menos possível a luz de cima às inseridas mais embaixo.

B. Caule

A estrutura do caule normal já ressalta do que foi exposto quando estudamos a distribuição dos feixes e a formação do cilindro central e da casca secundária. Estudamos todos os elementos que constituem sua anatomia: medula, lenho, casca secundária e primária, epiderme e cortiça. O caule geralmente tem forma cilíndrica; muitas vêzes, quando as fôlhas têm posição "oposta cruzada", é quadrangular. Nas *Cyperaceas,* com foliação trística, o corte do caule é, de preferência triangular.

A morfologia do caule é amplamente determinada pela *ramificação.* Como os ramos laterais saem das axilas das fôlhas, a ramificação geralmente se conforma com a disposição das fôlhas na espécie em questão. Contudo, as gemas que existem nas axilas das fôlhas, nem sempre se desenvolvem. Muitas ficam *gemas dormentes,* constituindo uma reserva e só desabrocham quando a planta precisa delas, por exemplo, depois da perda do brôto terminal ou da maioria dos outros gomos desenvolvidos. Isso se observa quando o jardineiro corta as sebes ou cêrcas vivas. Depois do corte, vemos sair muitos brotos laterais que provêm dos gomos até então dormentes.

Muitas plantas não desenvolvem qualquer ramificação lateral, como as *samambaiuçus* e as *Cycas;* nas *Palmeiras* geralmente a ramificação lateral limita-se à formação das inflorescências. Entre as *Dicotyledoneas* também algumas ficam sem ramificação como o Mamoeiro (*Carica Papaya*) e durante os primeiros anos, o Guapuruvu (*Schizolobium excelsum*). Geralmente as copas das árvores *dicotyledoneas* aparecem ricamente ramificadas. Nestas, porém, a maioria dos gomos laterais permanece em estado dormente. Além disso as plantas perdem com o tempo, uma grande fração dos brotos laterais que desabrocharam no início; no interior das copas sempre se dá o fenômeno da "*poda natural*": as fôlhas que não recebem bastante luz para ganhar mais substâncias orgânicas por fotossíntese do que as que perdem pela própria respiração, murcham e caem. O mesmo se dá com os ramos que as formaram.

Outro traço característico da morfologia de qualquer sistema ramificado é a relação do eixo principal para com os eixos laterais. No caso dos *Pinheiros* e das *Araucárias,* o eixo central ou caule principal pode ser fàcilmente reconhecido. Só êle tem crescimento vertical, causado por ortogeotropismo negativo (vide pág. 159), ao passo que os ramos laterais tomam direção oblíqua, por plagiogeotropismo, crescendo tam-

bém mais vagarosamente do que o eixo principal. Numa árvore velha, essas diferenças desaparecem; o eixo principal perde sua preponderância e a copa se arredonda. Nas *Dicotyledoneas,* as diferenças entre o eixo principal e os ramos secundários geralmente são menos nítidas. O ramo principal, muitas vêzes é substituído por um secundário. Freqüentemente, a copa se desfaz num sistema de alguns ramos de igual valor. Quanto a êste ponto, tôdas as espécies de árvores têm suas particularidades que as caracterizam. Já pelo porte se distinguem as árvores.

Onde predominar sempre o mesmo eixo primário falamos de um sistema *monopodial;* onde o eixo principal se compõe de vários sistemas que consecutivamente participam na formação do eixo principal falamos em sistema *simpodial* (*sympodio* = composto de vários pés). Nas

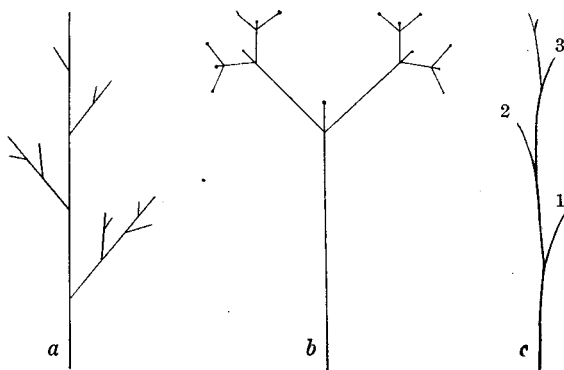



Fig. 123
Tipos de ramificações: *a*, Monopódio; *b*, Dicásio; *c*, Simpódio; neste o primeiro ramo principal (1) já foi substituído por um lateral (2) e assim sucessivamente. Orig.

inflorescências encontram-se mais divergências do tipo. Assim os ramos secundários podem ultrapassar os primários; de uma ramificação oposta origina-se então o chamado dicásio. Se fôr suprimido de cada vez um dos ramos secundários, resulta o monocásio, para citar só alguns dos tipos mais freqüentes (fig. 123; vide também fig. 228, pág. 225).

Como já foi aludido quando falamos da ramificação das Algas (pág. 84), podemos distinguir entre *ramos compridos* que servem para estender e suportar o sistema assimilador e *ramos curtos* que servem de "assimiladores". Ambos colaboram para guarnecer o rico *sistema* de uma copa de árvore. Os ramos curtos têm crescimento mais ou menos limitado, às vêzes transformando o ponto vegetativo numa ponta aguda (espinhos). — Os acúleos que também servem para a proteção da planta não são caules mas excrescências da epiderme. Fôlhas agudas e estípulas também podem desempenhar o papel de espinhos.

Divergências do tipo normal

Já conhecemos alguns casos de divergência do tipo do caule normal. Assim os *caules suculentos* muitas vêzes tornam-se bem grossos como os de certas *Cactaceas.* O caule ou o tronco não só armazena muita água, como serve também de órgão assimilador pela superfície bem verde, ao passo que as fôlhas são suprimidas ou reduzidas, existindo no seu lugar só alguns feixes de espinhos. Às vêzes tais caules aumentam a superfície achatando-se, como o caule das Figueiras das Índias (*Opuntias*) que se parecem com fôlhas suculentas.

Fig. 124
Cladódios: *1,* Caule alado da Carqueja (*Baccharis genistelloides*). Seg. Martius; 2, *Muehlenbeckia platyclada.* Orig. — 1/3 do natural.

Êsse fato do caule desempenhar o papel de fôlhas se encontra também em outros casos como no gênero *Baccharis,* (Carqueja) muito comum nos campos brasileiros, ou na *Muehlenbeckia platyclada* dos jardins (fig. 124). Tais caules que se parecem com fôlhas são chamados *cladódios* (1) ou *filocládios.* A formação de flores nos cladódios não deixa nenhuma dúvida que se trata, não de fôlhas, mas de caules. Um caso de suculência bem especial encontra-se não raras vêzes em árvores brasileiras cujo tronco se intumesce. Isso se dá em certas Palmeiras e especialmente em *Bombacaceas* como as *Barrigudas* do Nordeste do Brasil (fig. 125).

Em analogia com as formações de fôlhas conhecemos também caules que se transformaram em *gavinhas* que também podem ser ramificadas. No *Antigonum leptopus, Polygonacea* muito

---

(1) *Cladodio* e *phyllocladio,* do grego: *clados* = brôto. Denomina-se cladódio a um brôto de crescimento ilimitado (ramo comprido) ao passo que «phyllocladio» se emprega para ramos laterais, (ramos curtos).

cultivada nos jardins sul-americanos é a própria inflorescência que parcialmente se transforma em gavinhas (fig. 126).

Outras trepadeiras são as com *caule volúvel* que com o próprio caule principal envolvem os suportes (fig. 127). Ao passo que as gavinhas envolvem os suportes por estímulo de contato, curvando-se para

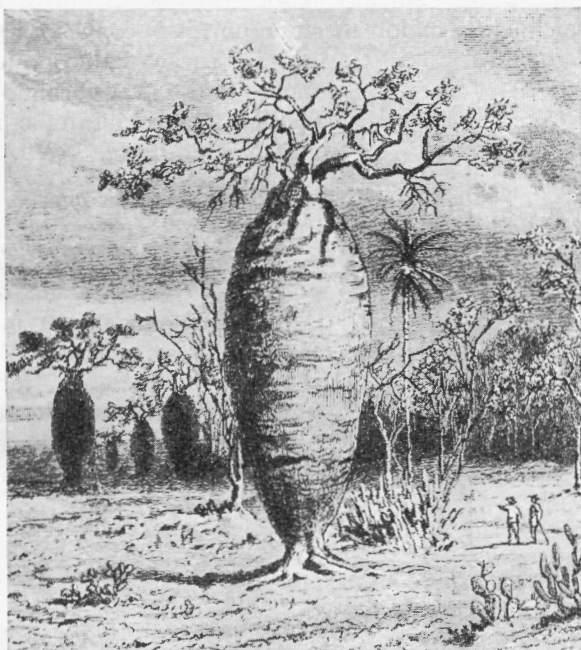



Fig. 125
Tronco de « Barriguda » (*Cavanillesia arborea*), nas caatingas sêcas do Nordeste do Brasil. Seg. Martius.

o lado de onde vem a irritação (vide pág. 162), aqui não se trata de tal estímulo. Os caules volúveis com poucas exceções sempre envolvem o suporte na mesma direção, sendo algumas espécies sinistrorsas outras dextrorsas. Antes de pegar o suporte, o ápice de um caule volúvel mos-

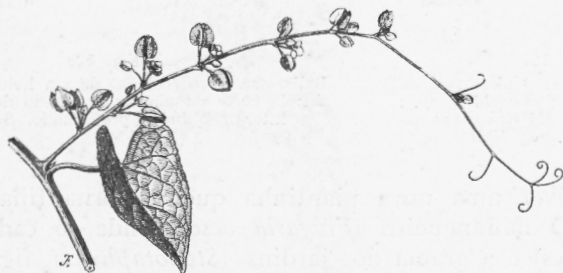



Fig. 126
Antigonum leptopus: Inflorescência, parcialmente transformada em gavinha. Orig.

tra-se inclinado horizontalmente. A direção da inclinação varia e, observando de perto podemos ver que o ápice descreve circunferências cuja direção é idêntica à do movimento envolvente. O mecanismo dêste movimento rotativo ou circunutatório é autônomo; é provocado por um crescimento desigual dos flancos do caule. Alternadamente cada flanco tem seu período de crescimento maior (do que os outros flancos). O lado com crescimento maior torna-se por isso convexo inclinando-se o ápice para o lado oposto. O crescimento maior translocando-se de flanco para flanco resulta o movimento giratório do caule.

Estolhos e *rizomas*. — Todos os ramos quando entram em contato com a terra podem formar raízes; nisso consiste a possibilidade das plantas de se reproduzirem por mudas. Muitas plantas se aproveitam disso para reprodução vegetativa, formando ramos laterais rentes à terra, rasteiros, os estolhos, cujos nós regularmente formam raízes. De cada nó assim se

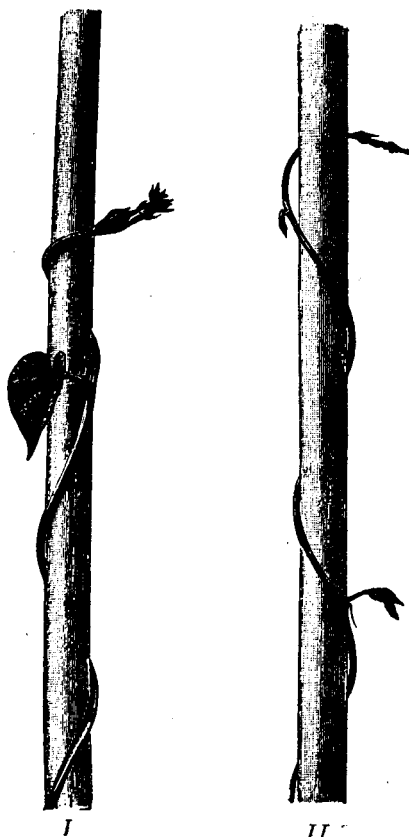



Fig. 127
Caules volúveis: *I*, sinistrorso, de uma « campânula » (*Pharbitis sp.*); *II*, dextrorso, de *Myrsiphyllum asparagoides*. Seg. Noll.

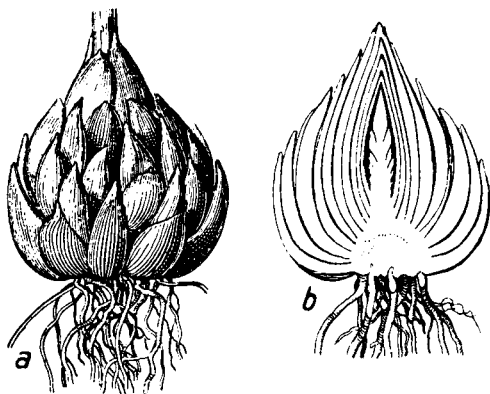



Fig. 128
Bulbo escamoso (cebola) de um lírio: *a*, vista geral; *b*, corte da planta no estado de repouso; no interior o brôto preformado. Seg. Hegi.

pode desenvolver uma nova plantinha que se torna finalmente independente. O morangueiro (*Fragaria vesca*, onde só cada segundo nó forma raízes) e a grama dos jardins (*Stenotaphrum*, fig. 104, pág. 122) são bons exemplos. Muitas vêzes tais caules são subterrâneos, chamando-se rizomas. No caso da fig. 114 (pág. 131) é o caule principal

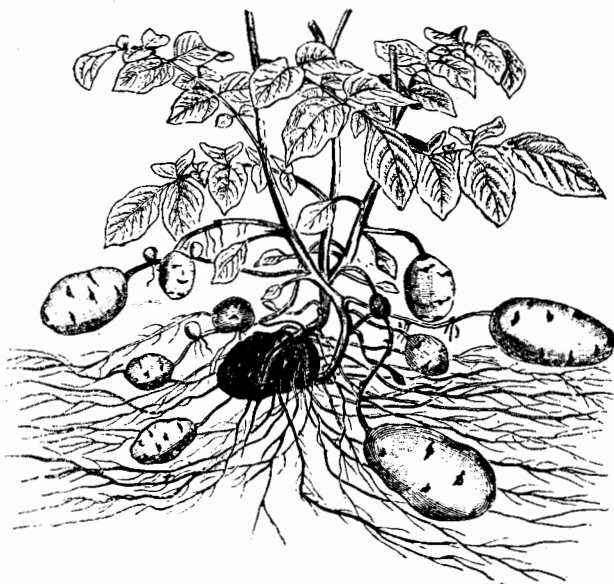



Fig. 129
Batatinha (*Solanum tuberosum*). O tubérculo central (escuro) é o que foi « semeado » originando a planta. Seg. Schenck.

Fig. 130
Sida macrodon, uma *Malvacea* comum nos campos de São Paulo, mostrando xilopódios subterrâneos. Seg. Hoehne.

que cresce horizontalmente por baixo da terra, emitindo cada ano um brôto vertical fora da terra. Chegada a estação fria (ou sêca) as partes em cima da terra murcham e desaparecem; só o rizoma subsiste protegido pela terra ou pela neve. Assim se compreende que freqüentemente os caules subterrâneos armazenam muitas substâncias de reserva, quer no próprio caule, quer em fôlhas subterrâneas ou escamas, como no caso da cebola (fig. 128). Muitas vêzes, como na *batatinha inglêsa* (fig. 129) são ramos laterais que se intumescem muito, transformando-se em *tubérculos*. Tais órgãos de origem caulinar sempre são munidos de gemas que num momento dado podem brotar. Caules subterrâneos garantem

Fig. 131
Pseudobulbos duma *Orchidea epifítica* (*Coelogyne cristata*).
Seg. Hegi.

a vida da planta quando, por causa do frio ou da sêca, as partes aéreas não podem sobreviver. Não é de estranhar que nos campos áridos do Brasil muitas plantas sejam munidas de caules intumescidos subterrâneos. São muitas vêzes duros, lignificados, o que lhes valeu o nome de *xilopódios* (1) (fig. 130).

Bulbos aéreos são os "*pseudobulbos*" das *Orchideas* epifíticas (fig. 131).

(1) *Xylopodio*, do grego: *xylos* = lenho; *pous* = pé, nome criado por Lindman. Em que grau as raízes compartilham da formação dos xilopódios, ainda não se sabe.

C. Raiz

A função das raízes é a fixação da planta no solo e a absorção (e condução) da água e dos sais minerais. Morfològicamente, a raiz se distingue do caule pela disposição dos feixes no cilindro central, já estudada na pág. 111, pela falta de fôlhas e por conseguinte, de gemas laterais.

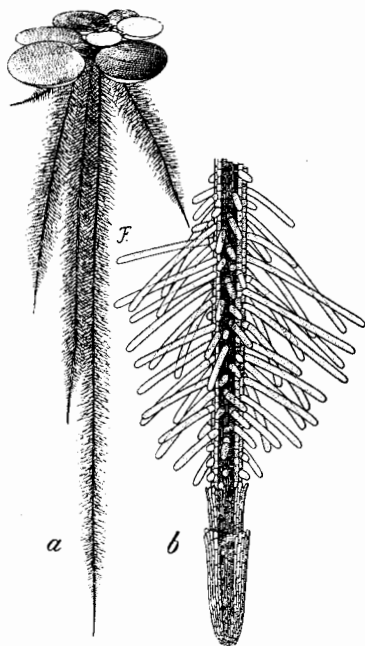



Fig. 132
Raízes com coifa e pêlos absorventes de uma planta aquática (*Hydromystria stolonifera* ou *Trianea bogotensis*, sinônimo mais usado na fisiologia, onde serve para demonstração do movimento citoplasmático). Cultivada nos aquários. Orig.

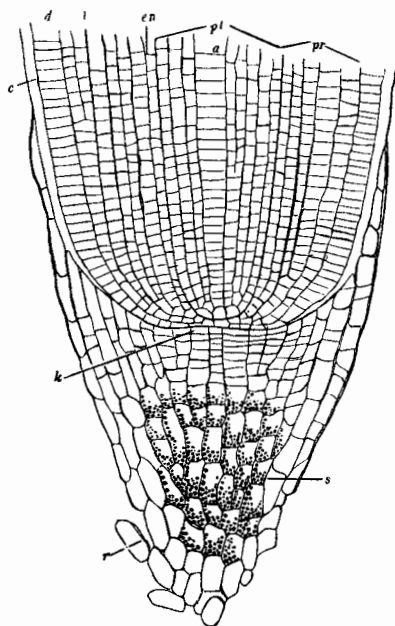



Fig. 133
Raiz de cevada (*Hordeum vulgare*), corte long.: *k*, caliptrogênio (caliptra = coifa); *s*, células com amido, interpretadas como « statolithos » (vide pág. 160); *r*, células da coifa, destacando-se em estado de perecer; *d*, dermatogênio, com membrana hidratada; *i*, espaços intercelulares, conduzindo ar; *en*, endoderme; *pl*, pleroma; *pr*, periblema; *a*, vaso central em formação. Seg. Strasburger.

O ponto vegetativo sempre é protegido por uma formação especial, a *coifa,* cujo desenvolvimento foi representado na fig. 54, pág. 90, numa Filicínea que cresce com uma só célula apical. Nas plantas superiores que crescem com várias células iniciais, são estas que, de maneira análoga, produzem os elementos da coifa. As células mais velhas desta, na periferia, morrem logo e se desfazem, sendo substituídas sempre por novas. Imediatamente sob a coifa encontramos a camada dermatogênica, da qual deriva a epiderme com seus *pêlos absorventes* (figs. 132, 133). Essas saliências das células epidérmicas só podem ser formadas a

certa distância do ponto vegetativo, na zona onde já terminou o crescimento em distensão da raiz. Do contrário, seriam deslocadas e quebradas no solo (fig. 20, pág. 53).

As *raízes secundárias* nascem no cilindro central, isto é, das células do *periciclo* que, por divisões consecutivas, formam o início da nova raiz (geralmente em frente das partes lenhosas) (figs. 134, 135). Esta abre um caminho, comprimindo e rompendo a cortiça da raiz produtora.

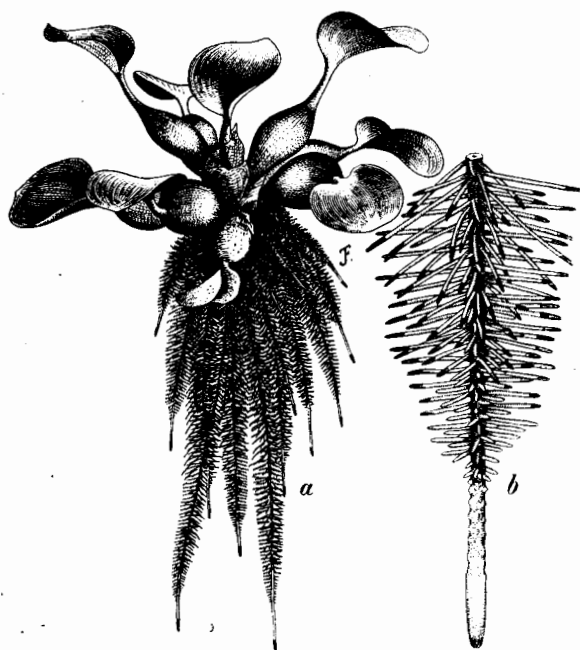



Fig. 134
Aguapé (*Eichhornia crassipes*), mostrando bem as raízes secundárias. Faltam pêlos absorventes. Orig.

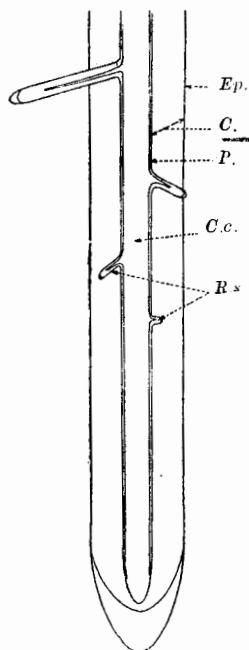



Fig. 135
Formação das raízes secundárias, *R.s.*, partindo do cilindro central, *C.c.*; *P.*, periciclo; *C.*, casca; *Ep.*, epiderme. Esquema, seg. Holman and Robbins.

O *sistema de ramificação* das raízes mostra analogias ao dos caules. Muitas vêzes se desenvolve uma *raiz principal* bem forte, que penetra perpendicularmente no solo, emitindo raízes secundárias mais finas e em direção oblíqua (plagiogeotrópica). Em muitas plantas novas, a primeira preocupação, por assim dizer, consiste em alcançar com a raiz a profundidade onde sempre pode conseguir humidade. Só depois desenvolve bem a parte que fica sôbre à terra.

Outras vêzes, como na maioria das *Monocotyledoneas,* a raiz pivotante não tem desenvolvimento tão acentuado, desenvolvendo-se com fôrça igual várias raízes laterais que dão origem a um sistema de *raízes fasciculadas.* Algumas dessas raízes laterais conservam-se bem perto da

superfície, aproveitando, assim, a água das chuvas passageiras que não penetram até às camadas profundas da terra. Nos lugares bem secos encontramos geralmente os dois tipos: plantas com raízes pivotantes bem longas que procuram o lençol d'água subterrâneo e outras com raízes fasciculadas que dependem sobretudo de chuvas acidentais. Algumas espécies reúnem ambos os tipos (fig. 136).

Quanto à anatomia das raízes, será suficiente o que foi dito e ilustrado na pág. 111 e nas figs. 87 e 88.

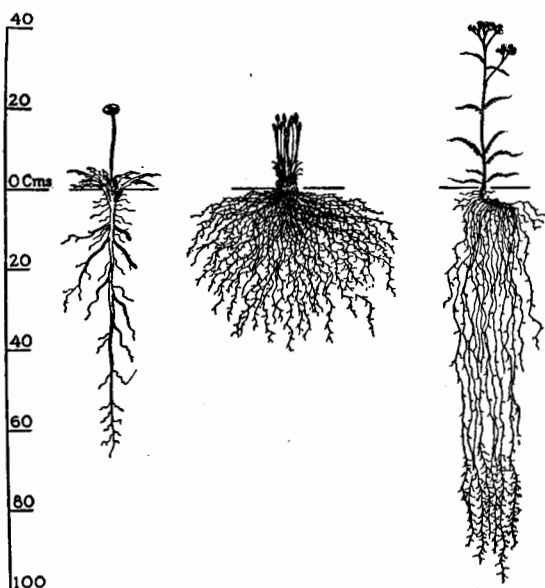



Fig. 136

Tipos de sistemas radiculares. À esquerda, raiz mestra, perpendicular de *Leontodon taraxacum*; no centro, raízes fasciculadas da *Gramínea Pôa secunda*; à direita, rizoma de *Achillea lanulosa*, emitindo várias raízes perpendiculares e fasciculadas. Seg. Spencer.

Divergências do tipo normal

Como os caules, as raízes podem se intumescer, tornando-se órgãos de reserva, quer se trate da raiz principal, como na cenoura, quer sejam as raízes secundárias, como as da *Dahlia*. As *raízes tuberosas*, distinguem-se de órgãos análogos caulinares, pela ausência de escamas e gomos.

Raízes aéreas. — Os caules têm a capacidade de formar raízes em qualquer ponto, em circunstâncias favoráveis. Assim, as mudas formam logo raízes na parte subterrânea. O contato com a terra com sua humidade e a ausência de luz são as causas imediatas. Em climas húmidos, vemos, muitas vêzes, os caules sôbre a terra, munidos de raízes que, então, como no caso do milho, fixam a planta como os cabos mantêm uma tôrre

de rádio. Tais *raízes de suporte* são bem desenvolvidas nas plantas de pântano que, provàvelmente por causa do terreno pouco firme, precisam de uma fixação suplementar. No Brasil o próprio "Mangue" (*Rhizophora mangle*) dos manguezais e o *Pandanus brasiliensis* ilustram o caso (fig. 137). A formação de tais raízes depende de uma humidade suficiente do ambiente.

As plantas *epifítas* formam raízes aéreas que, freqüentemente, se aconchegam à superfície da planta hospedeira, ou a abandonam, crescendo perpendicularmente para baixo, em procura da terra, como no caso dos *Philodendron* das nossas florestas (fig. 138).

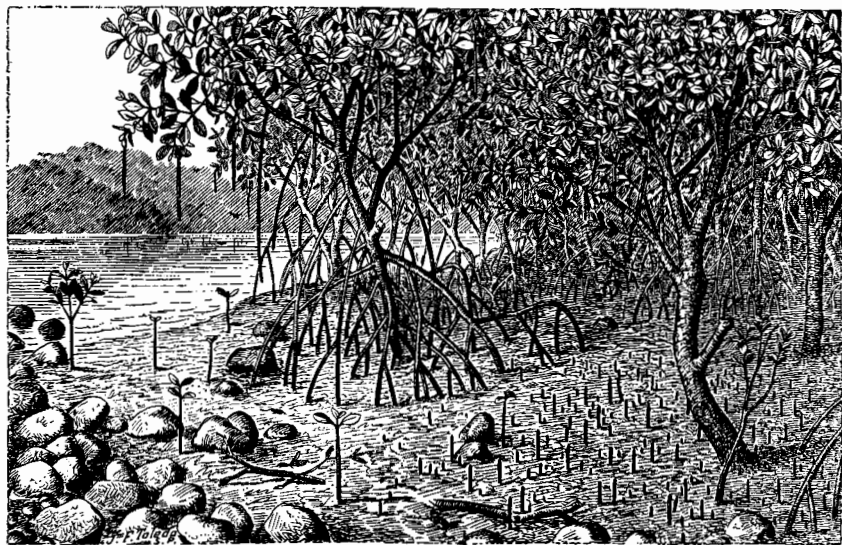



Fig. 137
Mànguezal de São Vicente, perto de Santos. *Rhizophora Mangle* mostrando raízes suportes e *Avicennia tomentosa* com pneumatóforos, saindo do solo. Orig.

Muitas vêzes, tais raízes têm excitabilidade tigmotrópica (vide pág. 162), como as gavinhas, envolvendo os troncos da planta hospedeira. Anastomosam e formam finalmente verdadeiras rêdes que impedem o crescimento ulterior da planta hospedeira, matando-a. Finalmente a rêde tem solidez suficiente para sustentar a copa do mata-pau que se formou no alto (fig. 139).

As raízes aéreas têm grande facilidade em absorver os mínimos traços de água que encontram no interior das florestas. São adaptadas para isso pela formação de uma casca exterior especializada, o *velame;* êste é formado por células mortas, munidas de orifícios pelos quais a água pode entrar e o ar sair, infiltrando-se como uma camada de mata-borrão. O velame é separado da casca viva, interior, pela formação de uma camada especial, a *exoderme* (fig. 140).

Raízes respiratórias. — Nas plantas de lugares pantanosos, muitas vêzes, encontramos raízes especiais que saem do brejo ou da água, sem dúvida para respirar. Como sabemos, a água deve ser considerada como pobre em oxigênio que, aliás, pela atividade de micróbios, pode ser totalmente consumido (1). Nos manguezais brasileiros, encontra-se, entre outras, a *Avicennia tomentosa,* árvore que emite raízes que saem da terra verticalmente para cima e que alcançam justamente o nível da maré alta (*pneumatóforos*) (2), fig. 137. São munidas de lenticelas pelas quais o ar atmosférico pode entrar. Na água

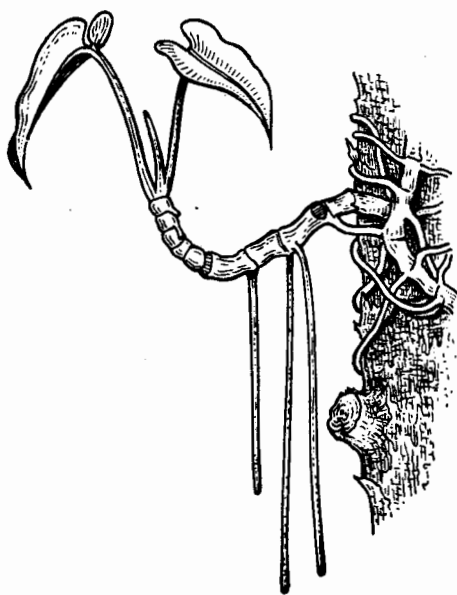



Fig. 138
Espécie de *Philodendron (Araceae),* gênero freqüente de plantas trepadeiras e epífitas do Brasil, com raízes aéreas. Orig.

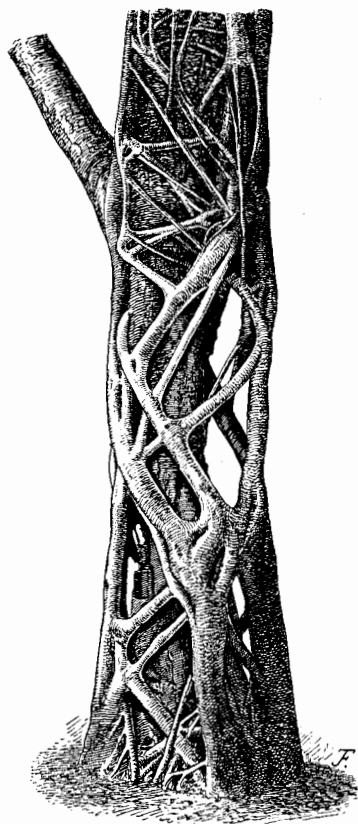



Fig. 139
Mata-pau (*Ficus sp.*) numa praça pública do Rio de Janeiro; vêem-se as raízes aéreas, envolvendo a planta hospedeira em decomposição, no centro. Orig.

doce, temos aqui o gênero *Jussiaea* que forma raízes na superfície d'água, cujas pontas bem brancas já revelam a existência de um aerênquima rico em ar (fig. 141).

Talvez as *raízes tabulares* devam ser mencionadas também nesta ocasião. Encontram-se especialmente em árvores tropicais e subtropi-

(1) Assim, Kleerekoper achou, nos brejos do Tiête, perto de São Paulo, um conteúdo de 1,7 mg de O^2 por litro, ao passo que nas mesmas condições (temperatura de 22,1° C) a água saturada contém 8,27 mg, quer dizer quase 5 vêzes mais.

(2) *Pneumatophoro,* do grego: *pneuma* = hálito.

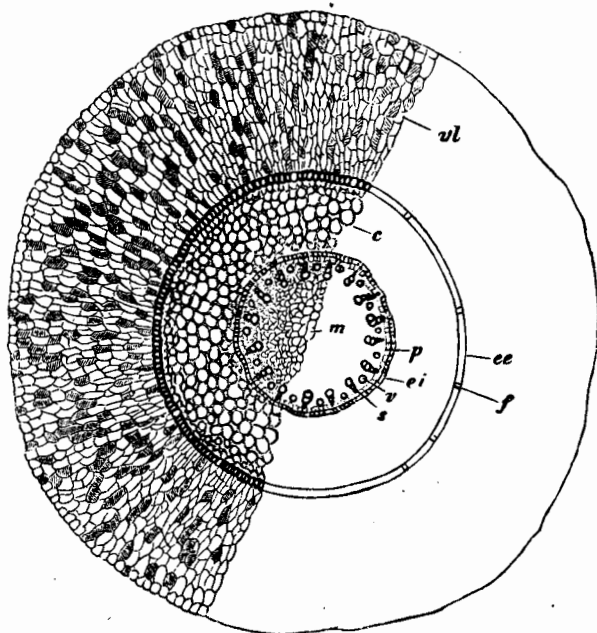



Fig. 140
Corte transv. de uma raiz aérea da *Orchidacea Dendrobium nobile*: *vl*, velame; *ee*, exoderme; *c*, casca interior; *f*, células de passagem; *ei*, endoderme; *p*, periciclo; *v*, líber; *s*, lenho; *m*, medula. Seg. Strasburger.

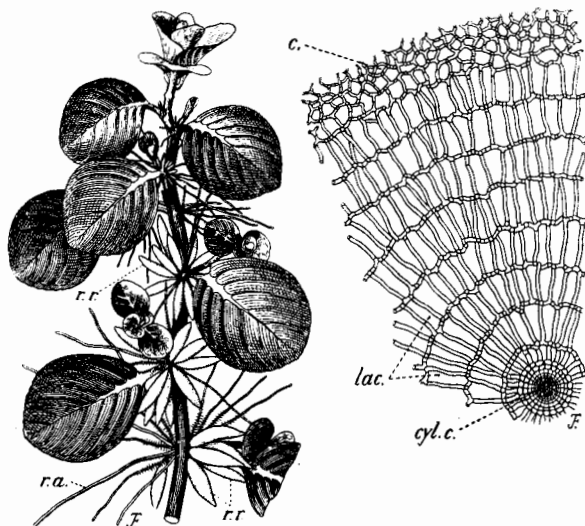



Fig. 141
Jussiaea repens, **planta de brejos brasileiros; vista geral de um brôto flutuante e parte do corte transv. de uma raiz respiratória (aumento 480 ×); *r.a.*, raízes aquáticas; *r.r.*, raízes respiratórias; *cyl.c.*, cilindro central; *lac.*, lacunas; *c.*, parte exterior da casca. Orig.**

cais, como as Figueiras (*Ficus*), o Pau-d'alho (*Gallesia*), mas, também, nos Choupos (*Populus*) dos climas temperados (fig. 142). Geralmente, são interpretados como elementos que devem aumentar a resistência do tronco. Mas, a persistência com que se conservam na superfície do solo, sugere a idéia de que se trata de aumento de superfície, facilitando a respiração.

Ao contrário, nas *raízes escoras,* formadas por vários representantes do gênero *Ficus,* especialmente nas Índias (*Ficus bengalensis*), trata-se, sem dúvida, de suportes para a planta. Essas raízes descem de ramos longos e horizontais, dirigindo-se verticalmente para a terra. Com o tempo, pelo crescimento secundário, tornam-se verdadeiras colunas; morrendo o tronco inicial, muitas dessas colunas podem substituí-los, originando-se assim, uma floresta de uma só árvore.

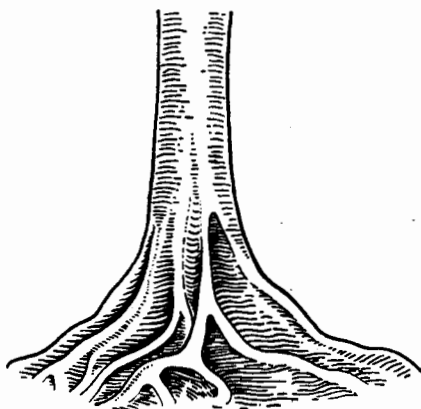



Fig. 142
Base de uma Figueira branca (*Ficus doliaria*), freqüente nas florestas sul-americanas, com raízes tabulares. Orig.

Raízes sugadoras ou *Haustórios.* — As parasitas verdadeiras tiram substâncias da planta hospedeira; é preciso, portanto, que suas raízes penetrem nelas, tornando-se "*haustórios*" (1). Assim, o Cipó-chumbo (gênero *Cuscuta*) é uma planta trepadeira que, com seus caules volúveis envolve o suporte. Em contato com a planta hospedeira forma *apressórios,* constituídos por células que aumentam de tamanho, aderindo bem ao caule. Finalmente, as células centrais do apressório penetram na casca, formando os próprios haustórios que entram até o câmbio. Aí estabelecem um contato íntimo com os vasos crivados e, como parece, também com os lenhosos, para cujo fim os haustórios se ramificam e se dividem até em fios isolados (fig. 143).

As *Ervas-de-passarinho,* pertencentes à família das *Loranthaceas,* germinam na casca de outras plantas, sendo as sementes revestidas de

(1) ***Haustório,*** do latim: *haurire* = haurir.

uma substância colante. A primeira raiz, por fototropismo negativo, dirige-se para o suporte, formando aí o apressório, do qual sai o primeiro haustório. Pela formação de raízes laterais, escondidas na casca da planta hospedeira, o parasito invade cada vez maiores extensões desta.

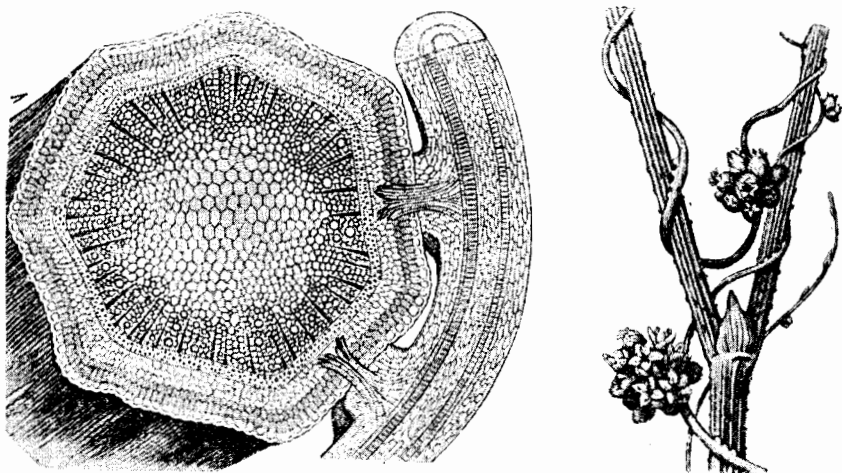



Fig. 143
Cipó-chumbo (*Cuscuta europaea*, parecida com as várias *Cuscutas* sul-americanas), parasitando *Lúpulo;* vista geral e corte transv. da hospedeira, mostrando a penetração dos haustórios. Seg. Kerner.

As Ervas-de-passarinho possuem fôlhas verdes com que podem fazer a fotossíntese, sendo chamadas por isso *semiparasitas*. Outros *semiparasitas* atacam só com as raízes subterrâneas, as raízes de outras plantas, aumentando assim, os próprios recursos. Por outro lado, há parasitos tão dependentes das plantas parasitadas, que podem dispensar a formação de fôlhas e caules; passam tôda a vida no interior do hóspede, as suas partes vegetativas existindo só em forma de haustórios. Assim, as *Balanophoraceas,* freqüentes nas florestas brasileiras, só se manifestam exteriormente, quando suas inflorescências quebram a casca das raízes — intumescidas — da planta hospedeira.

Capítulo VI

CRESCIMENTO E MOVIMENTOS DA PLANTA

A parte da botânica que trata dos movimentos da planta geralmente está incluída na fisiologia vegetal. Aí é contraposta ao metabolismo ou à teoria da troca das substâncias, como capítulo que trata da *troca das formas.*

Contudo, esta parte da fisiologia, hoje em dia, se aproxima cada vez mais da morfologia, dependendo ambas do estudo do desenvolvimento das formas. A maioria dos movimentos são reações de crescimento O crescimento é uma manifestação do desenvolvimento morfológico; como tal, é controlado pelos hormônios — há pouco conhecidos —. Êstes são formados só em órgãos definidos, e por isso estão ìntimamente ligados à morfologia. Assim se impõe a aproximação da teoria dos movimentos à da ciência das formas e do seu desenvolvimento.

Geralmente, atribuímos à planta uma motilidade muito restrita senão nula. Somos, por isso, surpreendidos pelos movimentos rápidos que observamos em alguns casos, como na *Mimosa,* na *Dionaea,* etc. Em princípio, porém, a planta é dotada de motilidade. As algas aparentemente sem motilidade, formam, mais ou menos regularmente, zoósporos que saem das células para se moverem como pequenos animais (1), quer por flagelos, quer de maneira amebóide. Esta motilidade do protoplasma primitivo se demonstra, aliás, no interior das células quando se observa a circulação do protoplasma, que já estudamos no comêço (pág. 20) e que se encontra em todos os grupos de plantas. Células que podem nadar por meio de flagelos são formados até em grupos bem elevados das *Gymnospermas,* cujos anterozóides conservaram seu caráter de zoósporos móveis por flagelos.

Assim, compreendemos que no comportamento fisiológico das plantas sejam observadas as mesmas leis básicas que regem no reino animal. Em ambos os reinos falamos de irritabilidade. Os têrmos que formam a base desta são os conceitos de excitação e de reação.A capacìdade de reagir a excitações é tida geralmente como critério da vida.

Os conceitos de excitação e reação se completam e só se compreendem, um na dependência do outro. Por excitação entendemos uma modificação das condições do ambiente, que provoca uma modificação no comportamento do ser vivo. Certamente, excitação e reação estão

---

(1) O primeiro descobridor dêsse fenômeno na alga *Vaucheria* foi Unger (1843) que o descreveu como « tornar-se a planta, animal ». A proveniência da palavra: zoósporo, do grego *zoon* = animal, lembra isso.

ligadas por uma concatenação de causas, causas essas, sem dúvida, de natureza física ou química. Mas, essa concatenação passa pelo protoplasma vivo; ninguém esclareceu ainda o que aí acontece quando uma excitação é transmitida e transformada em reação. Assim, empregamos os têrmos de excitação e reação, respectivamente, como princípio e fim de uma corrente, cujos elos intermediários só são conhecidos parcialmente, quanto aos fenômenos vitais do protoplasma. Quando êstes forem bem analisados fìsicamente, poderemos talvez falar de uma concatenação física ou química. Até então, será sòmente *fisiológica* e quando os biologistas querem falar dessa concatenação baseada em fenômenos vitais do protoplasma, não analisados, exprimem-se empregando a palavra excitabilidade.

– 1. TACTISMOS

Fototactismo. — Excitações e reações podem ser fàcilmente estudadas no fototactismo de certas algas primitivas. É suficiente deixar um copo com água, em cujo fundo se encontra um pouco de terra e alguns resíduos orgânicos, (casca de queijo, etc.), para ver, depois de alguns dias, uma turvação verde que geralmente é formada por algas do gênero *Chlamydomonas* (fig. 144). Estas algas são muito ágeis, fazendo movimentos rápidos, por meio da rotação de dois flagelos. Se colocarmos uma gôta que as contém, num vidro de relógio, podemos observar logo que se acumulam do lado oposto à luz. Se virarmos, agora, o vidro, vemo-las imediatamente tomar a direção oposta, fugindo novamente à luz.

Expondo-se a cultura à luz muito fraca, as células modificam seu comportamento, procurando, então, a luz e aglomerando-se do lado desta.

À irritabilidade de plantas móveis que podem nadar livremente chamamos *tactismo* (1), ao passo que *tropismo* (2) significa movimento de plantas fixas que se inclinam, p. ex., por crescimento, para um lado determinado.

Designamos *fototactismo positivo* o movimento dirigido para a fonte de luz e *negativo* o movimento na direção contrária. É interessante ver que o comportamento da alga pode inverter-se segundo as circunstâncias.

Temos aqui um exemplo muito bom de irritabilidade. A irritação consiste na iluminação, proveniente de um lado determinado. A reação (final) consiste na direção que os organismos tomam. Os acontecimentos que se passam entre a irritação e a reação final são desconhecidos. Só podemos supor que a mancha ocelar ou o "*estigma*", mancha vermelha formada por carotenos, deve estar implicada na absorção e percepção

(1) *Tactismo*, do grego: *taxis* = ordem, disposição; *phos*, gen. *photos* = luz.
(2) *Tropismo*, do grego: *tropein* = voltar, volver.

dos raios luminosos. Entre a absorção de luz e a regulação dos movimentos flagelares, sem dúvida, há várias reações intermediárias, no interior do protoplasma. Estas são desconhecidas.

Os movimentos dos cloroplastos no interior das células, tratados na pág. 36, também podem ser considerados como fototácticos; porém, o mecanismo do movimento ainda é desconhecido.

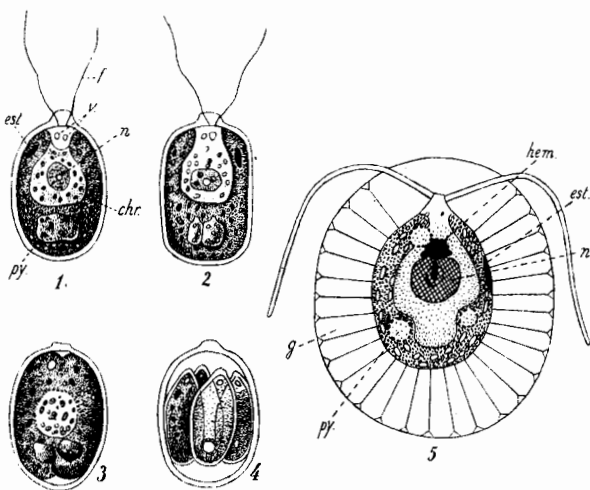



Fig. 144

1-4, Chlamydomonas angulosa em consecutivos estados de divisão longitudinal, produzindo 4 células; *5 Haematococcus pluvialis*; *f*, flagelos; *est.*, estigma; *v.*, vacúolos; *n*, núcleo; *g*, massa gelatinosa envolvente; *chr.*, cromatóforo; *py.*, pirenóide; *hem.*, hematocromo (carotina que dá ao *Haematococcus* a côr vermelha). Seg. Dill e Reichenow ap. Oltmanns.

Quimiotactismo. — Como a luz, também a existência de certas substâncias químicas pode provocar movimentos tácticos. Enchendo-se um tubo capilar (1) com substâncias orgânicas, como açúcar, proteínas, etc., e mergulhando-o numa solução que contém bactérias móveis, podemos logo observar que estas se aproximam do tubo capilar e penetram nêle. Pela difusão das substâncias fora do tubo capilar, dá-se uma queda das concentrações e essa diferença de concentração dos líquidos deve agir como excitação. A reação é geralmente, como no caso do fototactismo, positiva, quando se trata de soluções pouco concentradas. Concentrações elevadas podem exercer um efeito repulsivo, causando quimiotactismo negativo. Nesse caso, os organismos se acumulam a certa distância do tubo capilar, onde a concentração fôr mais conveniente ou, como dizem os biologistas, estiver no ótimo (fig. 145).

O aerotactismo citado na experiência de Engelmann (pág. 33) também é um caso de quimiotactismo, sendo nesse caso o oxigênio a subs-

(1) Para se encher um tubo capilar, fecha-se êste de um lado, por fusão sôbre a chama; resfriado coloca-se na solução com que deve ser enchido. Para expulsar o ar do tubo, aquece-se a solução, que depois de resfriada, penetra no tubo.

tância eficiente. Os anterozóides que procuram as oosferas também são atraídos por quimiotactismo, sendo as substâncias excitantes secretadas pela própria oosfera ou pelas células próximas, como o fazem as células colares do canal no caso dos arquegônios (pág. 199).

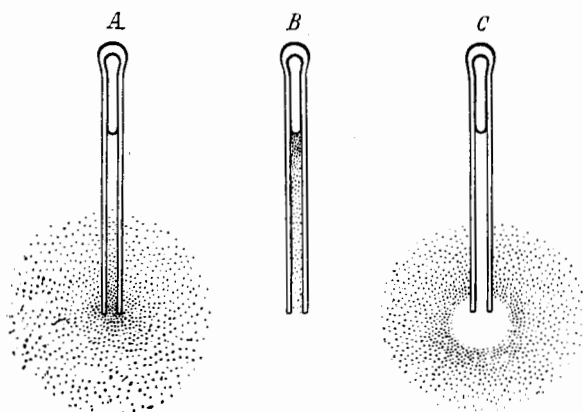



Fig. 145
Quimiotactismo. As bactérias procuram (*A*, *B*) ou evitam (*C*) a bôca de um capilar contendo substâncias ativas. Seg. Pfeffer.

2. MOVIMENTO POR CRESCIMENTO

A. Condições gerais do crescimento

Os movimentos pelos quais as plantas reagem são, na maioria dos casos, movimentos por crescimento. Executam-se — com poucas exceções — sòmente nas zonas de crescimento, por alterações do crescimento normal.

No ***crescimento normal*** distinguimos três fases: o *crescimento embrionário,* que consiste na multiplicação das células por divisão; o *crescimento de distensão,* durante o qual as membranas são distendidas e os vacúolos são formados; finalmente, o *crescimento de diferenciação,* durante o qual se dá a especialização das células, o espessamento das membranas, etc.

As três fases do crescimento dependem de condições do ambiente e de influências internas.

Quanto aos *fatôres externos,* o mais importante é a *temperatura.* Todos os sêres vivos só crescem e se desenvolvem dentro de certos limites, que variam segundo as espécies; para cada uma há uma *temperatura máxima* e outra *mínima,* além das quais não há crescimento, e um *ótimo,* onde o crescimento se efetua com a maior velocidade.

A presença ou falta de *luz* também influi; no escuro as plantas se desenvolvem *"estioladas".* Nesse caso, o crescimento de distensão do caule é muito aumentado, ao passo que os outros órgãos, como as fôlhas, são retardados no seu crescimento (fig. 146). O significado dêsse

fenômeno é evidente, sendo a falta de luz causada, geralmente, por terra que cobre as plantas. O aumento de crescimento do caule lhe serve para sair finalmente da terra; a redução das fôlhas, também é útil, pela diminuição da resistência.

Dos outros fatôres externos, lembramos só a presença dos elementos necessários para a alimentação e respiração, especialmente a *água* e o *oxigênio*. A presença de substâncias tóxicas — é lógico — diminui e faz parar o crescimento.

Dos *fatôres internos,* mencionamos, em primeiro lugar, as influências exercidas por outros órgãos da planta. Já sabemos que os gomos dormentes começam a crescer se forem afastados outros gomos e pontos apicais, aos quais cabe normalmente o desenvolvimento. Logo, dos gomos em desenvolvimento deve partir um sinal qualquer para os gomos dormentes, sinal êsse que os mantêm em repouso, impedindo o crescimento. Mas, se uma vez faltar êsse sinal, brotam. As relações que ligam, entre si, os órgãos de um vegetal, chamam-se "correlações". Os sinais, sem dúvida, são estabelecidos por substâncias químicas, os chamados *"hormônios"*.

Fig. 146
Plantinhas estiolada (*E*) e normal (*N*) da mostarda (*Sinapis alba*). Seg. Noll.

Uma descoberta recente de grande importância foi a dos *"hormônios de crescimento"* que, como parece, estão sempre presentes nos pontos apicais. O objeto clássico para tais estudos foi a plantinha de aveia (*Avena sativa*), cuja primeira fôlha, a chamada *"coleoptile"* forma uma espécie de tubo que perfura o solo. Se cortarmos a ponta apical dessa coleoptile, veremos logo que o crescimento dela é anulado. Se, entretanto, colocarmos novamente na planta a ponta cortada, o crescimento recomeça. Se, em vez de colocar a ponta, munirmos o resto da planta com substâncias extraídas da ponta, conseguiremos, também, novo crescimento. Em trabalhos clássicos o botânico Went e o químico Koegl conseguiram isolar e analisar esta substância, chamada *"auxina"*. A fig. 147 mostra a maneira que empregou F. W. Went para tirar a auxina de pontas de coleoptile que foram colocadas em cima de uma placa de ágar-ágar (1). Depois de ter tempo de difundir a auxina para o ágar, tiram-se as pontas, divide-se o ágar-ágar (*B*) e os pedaços são empregados para as experiências representadas em *C*. Acrescentando-se auxina — aliás também algumas outras substâncias químicas têm o mesmo efeito — podemos provocar crescimento em tecidos que, por falta dos hormônios, deixaram de crescer. A observação dêste crescimento é facilitada se o hormônio fôr acrescentado de um lado só. Neste caso o flanco próximo da coleoptile será estimulado, o que provoca uma curvatura,

(1) *Agar-ágar* é um carboidrato produzido em forma de mucilagem por Algas do Oceano Pacífico. Forma uma massa gelatinosa, empregada para culturas bacteriológicas.

que logo se percebe a ôlho nu e sem medição laboriosa. Mas, êsse efeito da auxina só se dá nos tecidos da zona de distensão; só êles reagem ao hormônio. A influência que a auxina aí exerce sôbre o crescimento das membranas não se dirige diretamente a estas; é o protoplasma que é excitado e que modifica o crescimento das paredes. A auxina não é uma substância específica da aveia; regula o crescimento de distensão em muitas plantas que até hoje foram estudadas.

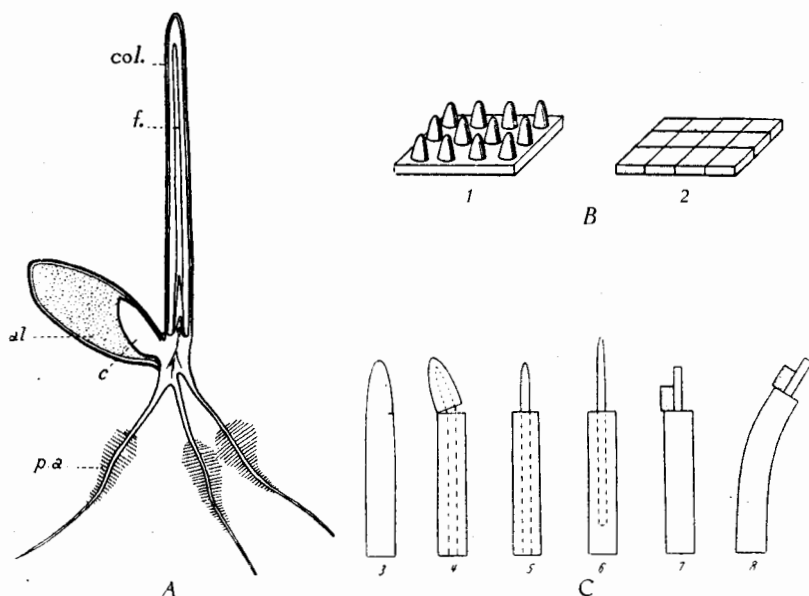



Fig. 147

Método de Went, demonstrando a atividade da auxina: *A*, plantinha de aveia (*Avena sativa*) em corte long.; *B*, pontas de coleoptiles colocadas numa placa de ágar; depois de certo tempo são afastadas e o ágar quadriculado; *C*, Uma coleoptile é decapitada (*3-4*), a fôlha primária é isolada e puxada para cima (*5-6*), a fim de sustentar um quadrículo de ágar (*7*) que provoca a curvatura (*8*); *p.a.*, pêlos absorventes; *al*, albume; *c*, «scutellum»; *col.*, coleoptile; *f.*, fôlha primária. Seg. Guillermond e Mangenot e Went.

O *crescimento de diferenciação* também depende provàvelmente de hormônios. Quais êstes hormônios e se a auxina desempenha também um papel neste sentido, ainda não foi resolvido. Continua também problemático porque em tecidos meristemáticos, que no começo são compostos de células iguais, alguns elementos são especializados como vasos lenhosos, outros como vasos crivados, fibras esclerenquimatosas, medula, etc. Como pode nascer essa diferença e ao mesmo tempo essa harmonia na composição dos vários tecidos, isso constitui o problema mais importante da *fisiologia do desenvolvimento*. Na Zoologia foi demonstrado que certos tecidos funcionam como *centros de organização, "organizadores"* e que os outros obedecem a influências que partem do organizador. Nos vegetais pode ser que tecidos já diferenciados influenciem os meristemas próximos, na sua diferenciação. As células diferenciadas em vaso lenhoso poderiam, assim, influenciar as meristemáticas mais novas, con-

tíguas para se transformarem no mesmo sentido. Até hoje não foi possível comprovar nìtidamente essa suposição.

Fenômenos análogos podem ser estudados nos processos de *"restituição"* quando uma planta ferida tem que reformar órgãos ou tecidos, fazendo a *"reparação"* na própria ferida ou uma *"regeneração"* a certa distância.

As células próximas à ferida nesse caso tornam-se novamente meristemáticas, produzindo um meristema secundário, o chamado *callus*. O *callus* mais tarde se diferencia produzindo raízes ou gomos de caules, raízes e gomos êsses "adventícios".

Neste caso são as alterações que resultam direta ou indiretamente da ferida, que excitam os tecidos no sentido de se tornarem novamente meristemáticos. Se a diferenciação ulterior prossegue no sentido de desenvolver raízes ou brotos, isso depende de outras influências, exteriores ou interiores.

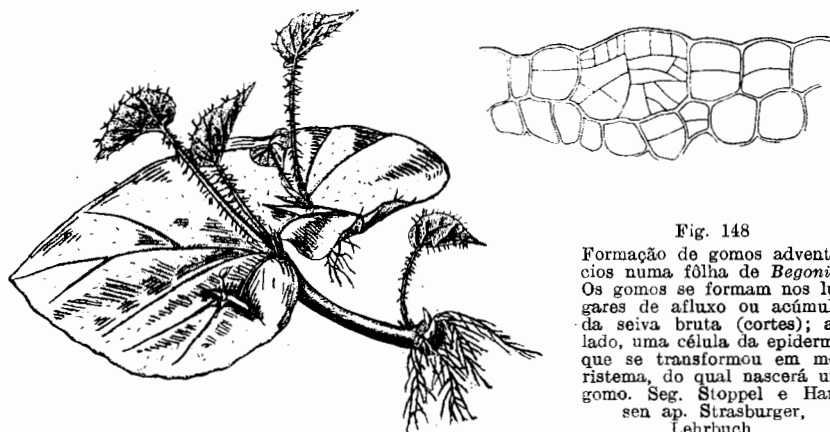



Fig. 148
Formação de gomos adventícios numa fôlha de *Begonia*. Os gomos se formam nos lugares de afluxo ou acúmulo da seiva bruta (cortes); ao lado, uma célula da epiderme que se transformou em meristema, do qual nascerá um gomo. Seg. Stoppel e Hansen ap. Strasburger, Lehrbuch.

Entre as influências interiores exercidas pelas correlações dos órgãos da planta, a *polaridade* desempenha um papel interessante. Se fôr separado um fragmento de ramo — por ex. da *Espirradeira* (*Nerium Oleander*) dos nossos jardins — êste desenvolve *callus* no corte basal assim como no apical. O *callus* apical forma gomos de caules, o *callus* basal forma raízes. Esta influência da polaridade interior é muito pouco modificada, colocando-se o fragmento em posição invertida; o corte basal que se encontra agora em cima, continua a formar raízes, se bem que em escala menor.

Às vêzes células adultas diferenciadas podem transformar-se diretamente em meristemas, que formam tais gomos adventícios. Isso acontece com fôlhas que foram separadas como as das Begônias que podem produzir gomos novos. A fig. 148 demonstra como uma célula epidérmica é transformada neste sentido.

B. Tropismos

Os tropismos das plantas se dão principalmente na zona de distensão.

Geotropismo. — Se empregarmos o método de Sachs, marcando uma raiz com pontos prêtos de nanquim de 2 em 2 milímetros, e deixando que continue a crescer perpendicularmente, verificaremos no dia seguinte que só os primeiros 5 a 8 milímetros se distendem. A zona de distensão na raiz geralmente termina com o primeiro centímetro apical.

Se colocarmos horizontalmente uma raiz idêntica, também marcada, podemos ver que executa uma curvatura, colocando de novo o ápice na vertical (fig. 149). Podemos verificar, que a curvatura só se dá na zona de crescimento. Observações precisas demonstraram que, nesse caso, o crescimento do lado superior, que se torna convexo, é aumentado, ao passo que o lado inferior, que se torna côncavo, diminui sua velocidade de distensão. Terminada a curvatura, as células do lado côncavo são, portanto, menores, como vemos na fig. 150.

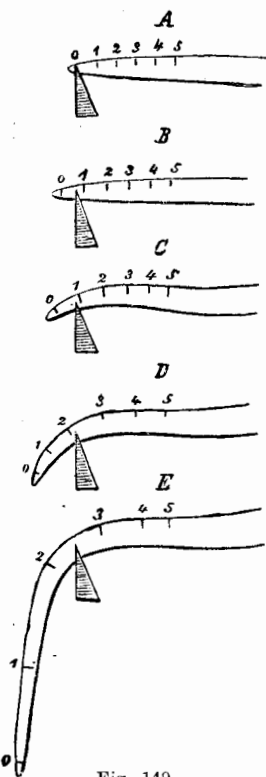



Fig. 149
Curvatura geotrópica da raiz de Fava (*Vicia Faba*). Raiz colocada horizontalmente e marcada de 2 em 2 mm; *A*, começo da experiência, *B*, *C*, *D*, *E*, depois de respectivamente 1, 2, 7 e 23 horas. O triângulo é um ponto de referência. Seg. Sachs

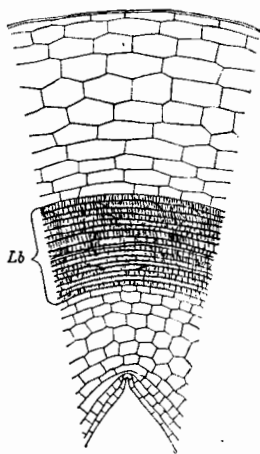



Fig. 150
Raiz de ervilha; corte long. na região de uma curvatura geotrópica; *Lb*, cilindro central. Notar a distensão das células parenquimatosas do lado convexo. Seg. Ciesielsky.

Tal movimento pode ser executado com bastante fôrça, penetrando, assim, a raiz na terra. A atividade do movimento pode ser demonstrada, colocando-se a raiz horizontalmente sôbre uma superfície de mercúrio; penetra até nesse líquido pesado. Assim se comprova que a curvatura da raiz para baixo não é uma simples conseqüência do pêso, mas, uma reação ativa dos tecidos.

A raiz percebe a mudança da direção da gravidade; esta exerce a excitação. A reação consiste na desigualdade do crescimento. Tais reações de crescimento, que são induzidas pela fôrça de atração da terra chamam-se *geotrópicas* (1).

(1) *Geotropismo*, do grego: *gea* e *ge* = terra; *trepein* = voltar, inclinar.

Se o órgão se coloca paralelamente à direção da gravidade, falamos em *ortogeotropismo* (1). No caso da raiz, o ortogeotropismo é *positivo* porque a raiz procura o centro de gravidade, o centro da terra.

Os caules, que crescem na vertical, têm *ortogeotropismo negativo*. A zona de crescimento nos caules geralmente é mais longa do que nas raízes. Assim, os movimentos podem abranger uma extensão maior. A

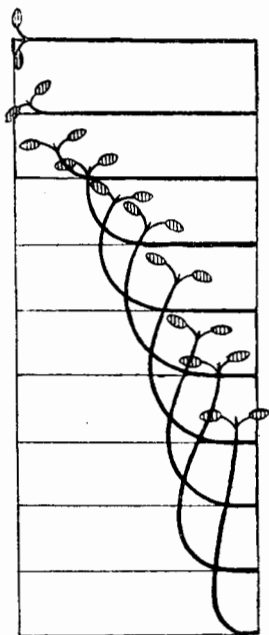



Fig. 151
Reação geotrópica de um caule que foi colocado horizontalmente. Estados consecutivos, de cima para baixo. Seg. Noll.

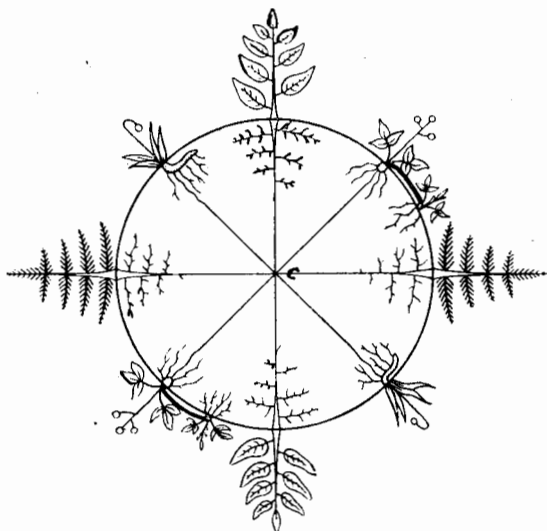



Fig. 152
Esquema mostrando os diversos tipos de geotropismo, representando *c* o centro de gravidade. Seg. Sachs.

curvatura começa geralmente perto do ápice, na zona onde a sensibilidade é maior e daí prossegue para as zonas basais. Quando estas reagem, as partes apicais já executaram uma reação. Assim se explica que a reação final pode ultrapassar a vertical, reação essa excessiva, que provoca uma nova reação geotrópica contrária, a qual finalmente, depois de algumas oscilações coloca o eixo bem a prumo (fig. 151).

Além dos órgãos dotados de ortogeotropismo positivo e negativo, conhecemos outros que, sob a influência da gravidade, tomam direção oblíqua ou horizontal, falando-se então em *plágio* e *diageotropismo* (2).

A sensibilidade à direção da gravidade proporciona às plantas um meio de orientação no espaço. Os caules encontram no alto a luz para

---

(1) *Ortogeotropismo*, do grego: *orthos* = reto, direito.
(2) *Plágio* e *diageotropismo*, do grego, *plagio* = oblíquo; *dia* = através (aqui, no sentido de transversal).

a fotossíntese; os ramos e as fôlhas, pela posição plagiogeotrópica, exploram os raios que, na maioria, vêm de cima. A raiz principal, pelo geotropismo positivo, é conduzida para o fundo, onde haverá água. As raízes secundárias, pelo plagiogeotropismo positivo, afastam-se da raiz pivotante, para explorar melhor o terreno. Os estolhos e rizomas, por diageotropismo, rastejam sôbre o terreno, que é o que lhes convém (fig. 152).

Como se dá a *percepção da gravidade,* eis um assunto muito discutido. A teoria dos estatolitos (1), iniciada por Noll e documentada por Nemec e Haberlandt, atribuiu a certos grãos de amido o papel de estatolitos, isto é, corpúsculos que, pelo seu pêso, indicam a direção da gravidade. É verdade que quase tôdas as plantas geotrópicas possuem, quer na endoderme, quer na coifa das raízes ou em outros tecidos, grãos de amido muito grandes e móveis que, geralmente, se acumulam do lado fìsicamente inferior das células (fig. 153), vide também fig. 133, pág. 143). Se um caule é colocado horizontalmente, os estatolitos caem para o lado inferior das células e poderiam, assim, provocar uma excitação do protoplasma dêste lado. Uma prova definitiva para esta hipótese interessante, até agora não pôde ser dada; aos indícios que falam em seu favor, opõem-se outros menos favoráveis.

Fototropismo. — Além da gravidade, é a luz que provoca as excitações de tropismo, mais importantes. Os raios luminosos, caindo de um lado, causam uma curvatura dos caules e dos pecíolos das fôlhas, que os orientam na direção da luz. Órgãos que procuram uma posição paralela à dos raios luminosos, chamam-se, em analogia com o geotropismo, *ortofototrópicos.* Geralmente, o fototropismo é positivo, existindo poucos órgãos que se afastam da luz. Entre tais órgãos de fototropismo negativo, contamos algumas raízes, como as da mostarda (*Sinapis alba,* fig. 154), ou as das ervas-de-passarinho, já mencionadas na pág. 149. Como no geotropismo, também no fototropismo existe o *diafototropismo,* especialmente nas fôlhas, como as da fig. 154.

Iluminação unilateral provoca no órgão irritado disposição desigual de claridade nos dois flancos; como parece, é esta diferença das intensidades de luz que produz excitação fototrópica. Como a percepção se dá, ainda não se sabe. Parece que, como nas manchas ocelares dos órgãos fototácticos, os carotenos desempenhem, nas plantas superiores, um papel na absorção dos raios estimulantes.

Na transmissão das excitações geo e fototrópicas intervêm, como foi constatado em estudos recentes, os *hormônios de crescimento.* Num órgão não excitado, que cresce direito, a auxina desce, homogêneamente, em todos os lados, para a base. Num órgão excitado geo ou fototròpicamente, os hormônios de crescimento são *desviados* para o lado que os tornará convexo. O lado oposto, recebe menos ou nenhum hor-

(1) *Statolithos,* do grego: *statos* = posição; *lithos* = pedra.

mônio e diminui ou cessa o crescimento. O desvio dos hormônios de crescimento é, pois, um elo da corrente de reações, entre a excitação inicial e a reação final.

Nas raízes, sabemos que, após excitação geotrópica, os hormônios são desviados da mesma forma, acumulando-se no lado inferior. Em raízes porém, altas concentrações de hormônios retardam o crescimento das células, o lado inferior se torna côncavo e a reação é de geotropismo positivo.

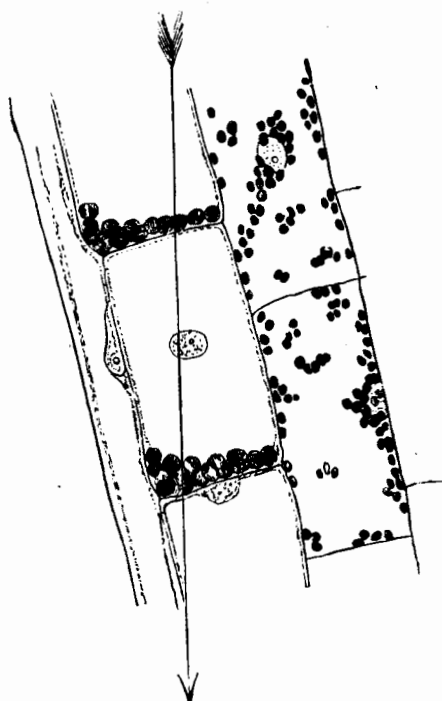



Fig. 153
Corte long. radial do caule de uma Trapoeraba (*Tradescantia virginica*) colocado obliquamente. A seta indica a direção da gravidade. Nos « Statocystos » nota-se a orientação dos grãos de amido (« statolithos »). Seg. Haberlandt.

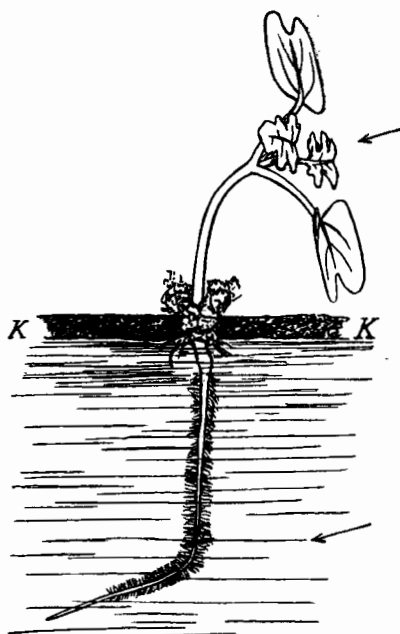



Fig. 154
Plantinha da mostarda (*Sinapis alba*), cultivada em água numa placa flutuante de cortiça (*K*). Iluminada do lado das flechas, executou as curvaturas fototrópicas. Seg. Noll.

Quanto a outras influências que provocam tropismos, citaremos em primeiro lugar as químicas, que provocam um *quimiotropismo* análogo ao quimiotactismo. Assim, os tubos polínicos são dirigidos, no seu crescimento, por substâncias secretadas pelo órgão feminino. As hifas dos fungos crescem ativamente em direção a substâncias nutritivas. O quimiotropismo existe também sob a forma de *aerotropismo* em relação ao oxigênio do ar e de *hidrotropismo* em relação à água; êste último é positivo em muitas raízes e negativo no caso de frutificação de certos fungos que, para formar os esporos, abandonam o substrato húmido.

Outro tropismo que já foi mencionado é o *tigmotropismo* (1) das gavinhas (fig. 155). Neste caso é o contato causado pelo toque do suporte que provoca a curvatura tropística. O lado excitado retarda o crescimento, ao passo que o lado oposto, de repente, aumenta muito o seu. As curvas e os laços resultantes podem ser formados com tanta velocidade que no Chuchu (*Sechium edule*) o movimento é bem perceptível a ôlho nu.

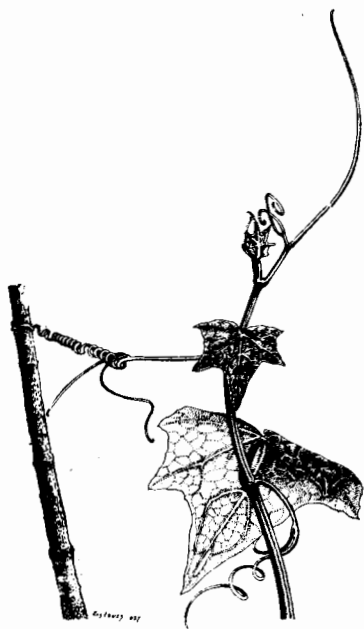



Fig. 155
Ápice de chuchu (*Sechium edule*) com gavinhas. Orig.

A maioria das gavinhas são órgãos dorsiventrais; reagem muito bem se forem excitadas do lado inferior. Uma fricção no lado superior provoca uma inclinação muito menor para êste lado, ou não produz reação alguma. Contudo, não devemos acreditar que as gavinhas sejam menos sensíveis do lado superior. Se uma gavinha fôr excitada simultâneamente do lado inferior e superior a reação não se dá. A reação provocada pela excitação do lado inferior, é impedida pela excitação simultânea do lado superior que, logo, deve ser percebida.

A desigualdade do crescimento, iniciada pela excitação da gavinha, dura desta forma certo tempo. Se a irritação não fôr repetida, a curvatura se desfaz, crescendo agora o lado excitado mais ràpidamente que o oposto, que por sua vez retarda o crescimento. A presença de um suporte perto da gavinha, provoca em cada oscilação do vegetal, uma nova irritação que cada vez mais aperta a curvatura. Uma só irritação causada por um animal provoca uma curvatura passageira.

Com os primeiros laços formados pelo tigmotropismo o movimento não está terminado. Antes de acabar com o crescimento as gavinhas enrolam-se porque o lado superior ainda continua crescendo, tornando-se assim o lado convexo de uma espiral. Estas espirais tornam-se verdadeiras molas que fixam a planta no suporte, de uma maneira bem elástica. As gavinhas que pegaram um suporte, muitas vêzes têm crescimento secundário em espessura, lignificando-se. As molas que não pegaram, enrolam-se, morrem e são afastadas.

Pela desigualdade do comportamento do lado superior e inferior e pela preferência com a qual as curvaturas se dão para êste último lado, estas reações das gavinhas já se aproximam de um outro tipo de movimentos vegetais, chamado nastia ou nastismo.

---

(1) *Thigmotropismo*, do grego: *thigmos* = contato.

C. Nastismos

Por *nastismos* (1) entendemos movimentos de curvatura cuja direção não depende da direção da qual vem a excitação, mas da simetria interior do órgão que reage. Há flores cujas pétalas se abrem fazendo uma curvatura para a base quando são iluminadas. A direção dos raios luminosos não influencia a direção da reação, esta é sempre orientada para a base da flor. Outras flores que só de noite desabrocham, quando iluminadas fazem o movimento contrário, fechando a corola. Tais movimentos, embora causados pela luz, não pertencem ao domínio do fototropismo, mas ao do fotonastismo. Neste caso os raios luminosos constituem um sinal que provoca o movimento mas que não o orienta.

Nastismos podem ocorrer só em *órgãos dorsiventrais* i. é, que possuem um lado superior e um inferior, diferentes, dependendo a direção da reação do eixo de dorsiventralidade.

Um exemplo de *tigmonastia* apresentam os tentáculos da fôlha de Drosera que foi citada entre as fôlhas insetívoras (fig. 120, pág. 133). Irritados pelo contato de um inseto, os tentáculos se inclinam geralmente para o lado interior da fôlha. O movimento é executado por crescimento desigual, os tentáculos podendo reagir só antes de serem adultos. Substâncias químicas como as que difundem dos insetos presos, podem provocar curvaturas iguais dos tentáculos; neste caso temos que falar em *quimionastia.*

Os movimentos das pétalas de flores que se abrem de dia ou de noite são casos de *fotonastia* se forem provocados pela alternância da iluminação cotidiana. Algumas vêzes tais movimentos são provocados, não pela luz, mas pelo calor do dia; neste caso falamos em *termonastia.*

O sono das *plantas dormideiras* é um fenômeno que pertence a êste domínio. As fôlhas de muitas plantas de noite abandonam a posição horizontal algumas abaixando-se, outras elevando-se; a maioria das *Leguminosas* dobra os folíolos. Neste caso, tais movimentos periódicos não obedecem sòmente a excitações exteriores, provenientes da alternância de luz e obscuridade ou de calor e frio. Mas, uma vez iniciados, os movimentos podem continuar durante muitos dias, nas condições constantes de um laboratório, cuja temperatura e iluminação artificial não variam.

O ritmo dos movimentos neste caso é mantido por fatôres internos da planta, fenômeno êsse só recentemente pôsto fora de dúvida. Quais os processos que, de fato, se desenrolam no interior da planta, fica por esclarecer. Realizando-se em temperaturas elevadas, os processos rítmicos são acelerados; em temperaturas baixas, retardados. Por se tratar de reações complexas, nas quais interferem fatôres internos e excitações exteriores, êsses movimentos diurnos e noturnos muitas vêzes são abrangidos pelo nome de *nictinastia* (2).

---

(1) *Nastismo* ou *nastia*. A etimologia é complicada: *nassein* no grego significa atulhar. Os têrmos *epi* e *hyponastia* no comêço designaram crescimento desigual, em espessura, de ramos. Hoje designam crescimento desigual em comprimento.

(2) *Nyctinastia*, do grego: *nyx* = noite.

3. MOVIMENTOS POR "VARIAÇÃO"

O mecanismo de reação da nictinastia, muitas vêzes pode diferir dos casos até agora considerados. Nestes, tratava-se sempre de reações por crescimento, reações essas que são designadas também pelo nome de *nutações*. Existem, porém movimentos que não se fazem por crescimento, mas, por variação do turgor. A fig. 156 apresenta uma base folhear de uma *Leguminosa*, base folhear essa transformada em *articulação.* Tais articulações, encontradas nas *Mimosas*, são conhecidas pelos movimentos rápidos, seismonásticos, sôbre os quais logo falaremos. Encontramo-las também na maioria das outras *Leguminosas* que fazem os movimentos nictinásticos justamente tratados. Na articulação os feixes, que no pecíolo têm disposição periférica, circular, deixam a superfície para se reunir quase num cilindro central, no centro do eixo. A periferia da articulação é intumescida, sendo formada por um parênquima aquoso, turgescente, um dos tecidos às vêzes classificados pelos anatomistas como *parênquimas de movimento.*

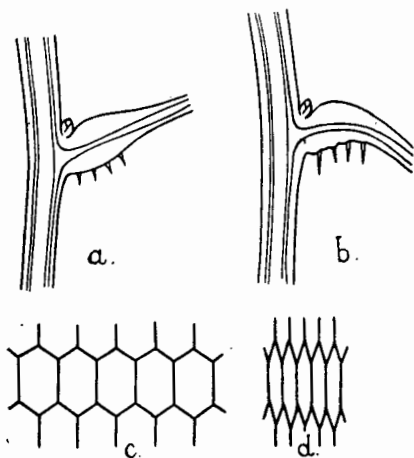



Fig. 156
Articulação da fôlha de *Mimosa pudica* em corte long.: *a.*, antes; *b.*, imediatamente depois da excitação; *c.*, célula do tecido motor, no estado máximo; *d.*, no estado mínimo de turgescência. Orig.

Quando uma fôlha deve ser baixada, a parte superior da articulação aumenta sua fôrça de sucção e, por absorção de água, o seu volume, ao passo que na parte inferior há uma diminuição da turgescência e conseqüente perda de volume. Quando a fôlha é elevada, dá-se o contrário. Dilatação e contração se processam numa direção só, a longitudinal da articulação, devido à configuração das células (fig. 156, *c* e *d*). Ao passo que os movimentos de crescimento são irreversíveis, cada prolongamento da célula sendo permanente, no caso das articulações os processos são reversíveis; à expansão elástica das membranas celulares, pode seguir-se uma nova contração, também elástica. É só a sucção osmótica dos tecidos que varia, segundo excitações exteriores ou de acôrdo com o ritmo interior. Por meio das articulações as fôlhas adultas podem conservar certa motilidade.

Essa motilidade por turgescência, nas articulações, pode ser melhor observada no caso da *seismonastia,* tão bem desenvolvida nas Sensitivas (*Malícia de mulher, Mimosa pudica, M. sensitiva* e outras espécies), que são freqüentes no Brasil.

Com o têrmo *seismonastia* (1) designamos uma reação nástica que se segue a uma irritação por abalo.

A reação produz-se quase instantâneamente. Uma *Mimosa* excitada (fig. 157) por toque ou lesão, queimadura ou descarga elétrica dobra imediatamente os folíolos (são êstes os folíolos de segunda ordem, sendo a fôlha bipenada) primeiramente atingidos. Cada folíolo tem sua própria articulação. Estas articulações, irritadas, perdem quase instantâneamente a turgescência do lado superior, em conseqüência dobram-se os folíolos para cima. É interessante ver que a excitação é agora transmitida para os folíolos seguintes, não irritados. Um depois do outro,

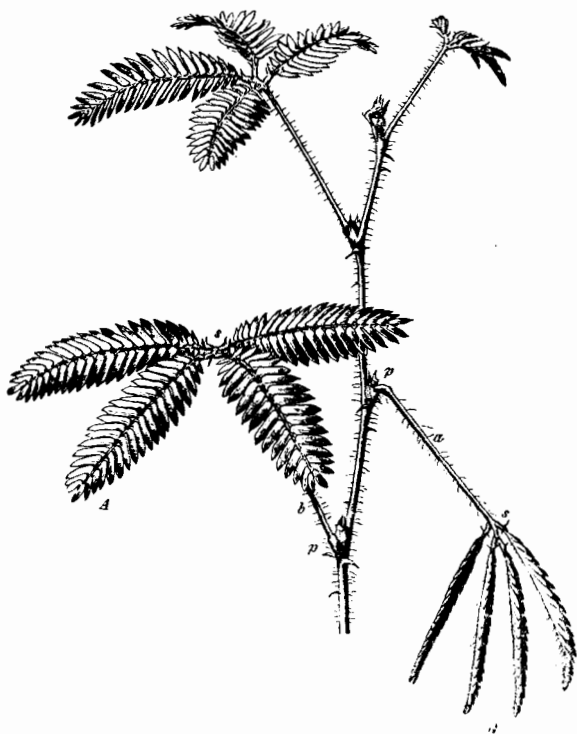



Fig. 157
Mimosa pudica: A, fôlha em repouso; *B*, imediatamente após excitação; *p* e *s*, articulação primárias e secundárias. Seg. Pfeffer.

cada par de folíolos dobra-se até que a irritação tenha atingido a base do folíolo de primeira ordem. Aí encontra-se novamente uma articulação, que reage por perda de turgescência do lado interior. Em conseqüência, os folíolos de primeira ordem aproximam-se, e agora a irritação pode ser propagada também pelos folíolos não irritados. Nestes, começando pela base, todos os pares de folíolos pequenos se dobram também

(1) *Seismonastia*, do grego: *seismos* = abalo, p. e., « abalo sísmico ».

para cima. Enquanto isso, a irritação é conduzida também pelo pecíolo comum, para a articulação principal na base da fôlha tôda. Nesta, é o lado inferior que se contrai, e imediatamente a fôlha tôda baixa. A irritação pode ser conduzida para as fôlhas vizinhas e podemos acompanhar, pelos movimentos sucessivos, o caminho da excitação. Esta, ao ser conduzida, põe em movimento, primeiro, a articulação principal da fôlha próxima, que baixa. Seguem-se as articulações secundárias e finalmente as dos folíolos pequenos. Depois de alguns minutos, as articulações recuperam sua turgescência inicial e as fôlhas tomam novamente a posição normal.

O *mecanismo do fenômeno* ainda está longe de ser esclarecido. Nas reações das articulações sabemos que se trata de perda de turgescência de um lado. Quanto à condução, sabemos apenas que há vários mecanismos que intervêm, como correntes elétricas, provàvelmente variações da pressão hidrostática nos tecidos, e certamente substâncias químicas que são conduzidas nos feixes.

Além dos movimentos seismonásticos, a *Mimosa* possui nictinastia, colocando de noite as fôlhas na mesma posição que tomam depois da excitação por abalo. Neste caso, porém, os lados inferiores ou interiores das articulações não perdem sua turgescência; são os lados opostos que aumentam a sua, aumentando tôda a articulação a sua solidez.

Narcóticos, como éter e clorofórmio, impedem as reações, sendo as seismonásticas mais sensíveis do que as nictinásticas.

Sôbre a utilidade dêstes movimentos seísmo e nictinásticos podemos apenas formular conjeturas vagas. Em certos casos, como na *Dionaea* (pág. 133) o mecanismo seismonástico está ao serviço da *insetivoria*. Em algumas flores conhecemos estames ou estigmas seismonásticos, cujos movimentos servem para a *polinização*.

Capítulo V

REPRODUÇÃO E ÓRGÃOS REPRODUTORES DAS PLANTAS

1. OBSERVAÇÕES GERAIS

Geralmente ligamos os conceitos de reprodução e de multiplicação ao de sexualidade. Reprodução e copulação sexual são, porém, fenômenos bem diferentes. Podem ser independentes um do outro. Conhecemos processos de união sexual que não se relacionam com a multiplicação dos indivíduos e, por outro lado, há muitos casos de reprodução vegetativa, que excluem qualquer intervenção de processos sexuais.

A. Multiplicação vegetativa

Nas plantas mais primitivas é difícil distinguir o que é crescimento e o que é multiplicação. Os sêres unicelulares crescem até alcançar certo tamanho, depois se dividem. Algumas algas unicelulares, como as *Diatomaceas,* no estado normal, vegetativo, não crescem. Têm uma cápsula ou "*frústula*" rígida, silicificada. A frústula é formada por duas partes que se encaixam uma na outra (fig. 158). Na divisão da célula, as duas metades da caixa se afastam, enquanto se dá a bipartição do núcleo, dos cromatóforos e do conteúdo restante da célula. Cada célula-filha ficará com uma das metades da frústula; a outra metade necessária é formada no interior da primeira, de modo que, depois da divisão, cada nova frústula é constituída por uma metade que provém da célula-mãe e por outra neoformada. Esta fica dentro da metade anterior. Assim, uma das células-filhas — a que recebeu a metade maior da frústula inicial — terá exatamente o tamanho da célula-mãe. A

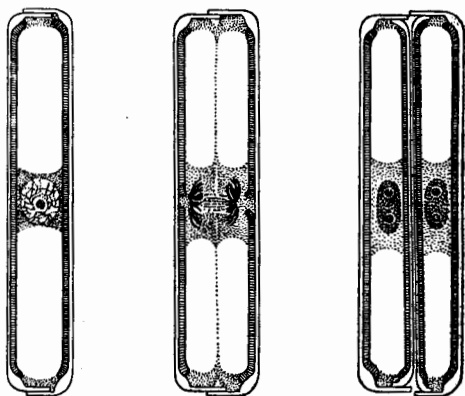



Fig. 158
Uma *Diatomacea* (*Pinnularia oblonga*) em divisão. Os cromatóforos formam placas, desenhadas em traço. As frústulas aparecem em branco. Aumento 240 ×. Modif. de Lauterborn.

outra será menos longa, sendo a diferença entre as duas igual a duas vêzes a espessura da frústula. Nas divisões sucessivas sempre haverá células que não aumentam nem diminuem, enquanto outras se tornam cada vez menores. Finalmente, tal diminuição é compensada, abandonando os indivíduos diminuídos, a respectiva cápsula. Aumentam no estado nu e formam, então, uma nova cápsula bem grande. Essa formação de "auxosporos" (1) muitas vêzes é acompanhada de uma copulação sexual de duas destas células que saíram simultâneamente das respectivas cápsulas. (Vide fig. 168, pág. 174).

Na maioria das plantas unicelulares, porém, as paredes continuam a crescer e aumentar de tamanho. Mas, em geral, um certo volume não pode ser ultrapassado, sem divisão do núcleo e conseqüente bipartição das células. Geralmente na bipartição as células se dividem em duas metades iguais.

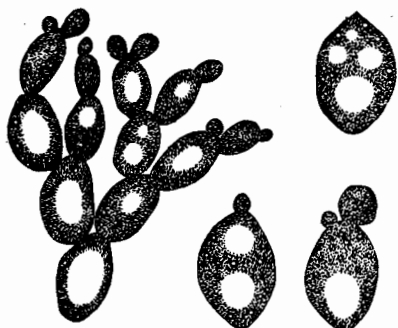



Fig. 159
Saccharomyces cerevisiae: diversos estados de brotamento. Seg. Kerner.

Nos levedos, porém, e em alguns outros fungos a multiplicação vegetativa se dá por brotamento ou gemação (fig. 159); a célula-mãe produz primeiro uma pequena excrescência; esta aumenta até alcançar o tamanho da célula que a formou. O núcleo desta, que se dividiu, deu um núcleo-filho à célula nova. Esta se pode destacar ou pode permanecer no conjunto da pequena colônia assim formada.

Nas plantas unicelulares a bipartição é equivalente à reprodução, existindo agora dois indivíduos em vez de um, indivíduos êsses que no caso de sêres verdadeiramente unicelulares se separam e se afastam. Já no caso das colônias, tratado na pág. 81, o fenômeno é menos nítido. Os indivíduos neoformados por divisão, continuam na mesma colônia. Quanto a esta, podemos dizer que cresceu. Tratando-se de "colônias em fio" como na *Spirogyra,* na *Mougeotia,* etc., cada fio representa um indivíduo pluricelular. Neste fio a divisão de uma célula já não constitui multiplicação, mas, crescimento. Os fios, porém, que ultrapassarem um certo comprimento podem se multiplicar por fragmentação. Nos fios das *Cyanophyceas,* esta forma de reprodução é freqüente e especializada, chamando-se hormogônios os fragmentos de fios destinados a sair do conjunto das colônias (fig. 39, pág. 82).

Zoósporos. — Muitas algas, que não possuem motilidade própria, podem formar células reprodutoras móveis. Assim, na *Ulothrix* (*Chlorophyceae*) (fig: 160) o conteúdo das células se contrai em certas condições e se divide em duas, quatro ou mais partes, que se arredondam. Finalmente, essas partes saem da célula por uma abertura, sendo no-

(1) *Auxosporos,* do grego: *auxanein* = aumentar.

início envolvidas por uma massa gelatinosa, cuja hidratação serve para forçar a saída. Dissolvida esta, as novas células deixam ver flagelos e comportam-se como os *Haematococcus*, estudados na pág. 152, com a diferença que em *Ulothrix* existem 4 flagelos, o que conhecemos aliás

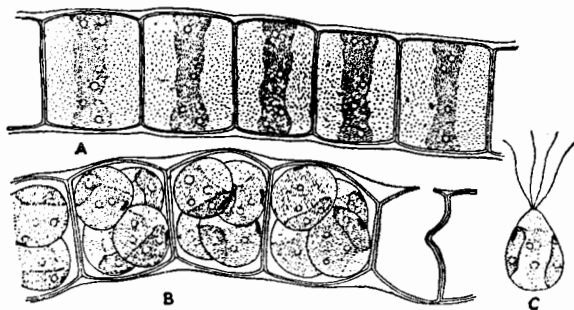



Fig. 160
Ulothrix zonata: A, fio normal; *B* formação de zoósporos; *C*, zoósporo isolado. Seg. Smith.

em certos parentes unicelulares de *Chlamydomonas*. Provàvelmente, as *Ulothrix* também são parentes das *Chlamydomonales*, das quais podem ser derivadas, no sentido filogenético. Na formação das células móveis os *"zoósporos"* (1) voltam ao estado filogenèticamente primitivo.

(Também nas *Chlamydomonas*, algumas formas no estado adulto perdem a motilidade, fixando-se e formando colônias imóveis. Só em certas condições voltam ao estado de zoósporos).

Fig. 161
Conidióforos de 2 mofos comuns: A, *Penicillium;* com um conídio em germinação (B); C, *Aspergillus*. Seg. Holman and Robbins.

É claro que a volta para o estado primitivo, móvel, proporciona a êsses fios amplas possibilidades para a propagação. Os zoósporos podem ser considerados como células especializadas e destinadas à multiplicação. Em outros casos são formadas células propagadoras sem motilidade, chamadas *"aplanósporos"* (2) cujo transporte cabe às correntes d'água ou de ar. Esta formação de aplanósporos é muito comum nos fungos, geralmente de vida terrestre, cujos esporos são disseminados pelo vento, ficando muito tempo suspensos na atmosfera, sob a forma de poeira. A fig. 161 mostra dois dos mofos mais comuns, cujas hifas esporíferas separam, por

(1) *Zoósporos*, do grego: *zoon* = vivo, animal; *spora* = semente, de *sporein*, isto é, espalhar.
(2) *Aplanósporos*, do grego: *planein* = perambular, mover-se; *a* = privativo.

estrangulamento, séries sucessivas dos chamados *"conidiósporos"* (1). Ainda em plantas relativamente superiores, como nas *Bryophytas* encontramos separação de células propagadoras, formadas por transformação dos tecidos das fôlhas, dos caules e dos protonemas.

Nos casos acima mencionados sempre se trata de esporos unicelulares; as plantas superiores formam, porém, de preferência, propágulos compostos de várias células.

Já nos *Liquens* tais propágulos pluricelulares são de grande importância. Como sabemos (pág. 76), os Liquens são compostos de cogumelos e algas; cada espécie de líquen representa uma combinação de uma determinada espécie de fungo, que se associou a uma alga (*Cyanophycea* ou *Chlorophycea*) (fig. 37), para formar um novo ser simbiótico.

Da composição dos dois simbiontes resulta uma nova individualidade que, na sua vida vegetativa, se comporta como uma planta autotrófica, talvez como um Musgo ou uma Hepática. Só quando se trata

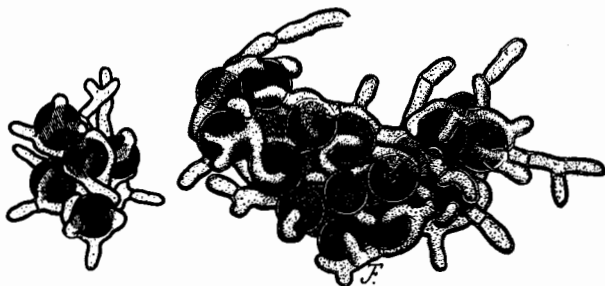



Fig. 162
Sorédios de um líquen, não classificado, semeados em cultura pura. As hifas do fungo começam a brotar. Aumento 780 ×. Orig.

da reprodução surgem as dificuldades. O fungo produz seus esporos que só reproduzem o próprio fungo e nos casos em que a alga produz células propagadoras, estas poderiam ser espalhadas sem o fungo. Assim, é preciso que os liquens formem os chamados *"Sorédios"*, protuberâncias constituídas por pacotes de hifas do fungo contendo uma ou várias algas (fig. 162). Os sorédios são fàcilmente destacados e espalhados pela água e pelo vento. A poeira fina que reveste como farinha a superfície de muitos liquens é constituída de sorédios; basta distribuir algo de tal poeira numa gôta d'água sôbre a lâmina para conseguirmos uma preparação microscópica como a da fig. 162.

Nas *Bryophytas,* além de propágulos unicelulares, já mencionados, às vêzes se encontram propágulos maiores, como na *Marchantia,* onde êstes são formados em conceptáculos caliciformes (fig. 163).

Nas *plantas superiores* raramente se formam corpúsculos especiais de propagação, mas, virtualmente, cada órgão, se fôr separado, é capaz de restituir uma nova planta. Disso se servem os cultivadores, quando fazem mudas, às vêzes sendo a muda a única maneira de pro-

(1) *Conidiósporos,* provàvelmente da palavra grega *conis* = poeira.

pagação, como no caso da Bananeira e, geralmente, na Cana-de-açúcar e na Parreira. Já mencionamos na pág. 140, como ramos e caules isolados produzem raízes e gomos adventícios. Até raízes podem formar gomos adventícios, como nos Choupos e nas Roseiras.

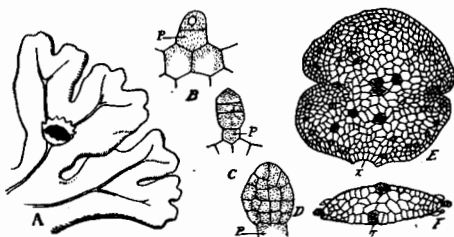



Fig. 163
Marchantia polymorpha: A, um fragmento de talo com um cálice; *B, C, D*, diversas fases do desenvolvimento de um propágulo; *E, F*, propágulo maduro, visto de cima e em corte; *p*, célula pedal; *x*, ponto de fixação no pedúnculo; *r*, primórdios de rizóides. Seg. Plantefol e Kny.

Fig. 164
Fôlha da Fortuna (*Bryophyllum calycinum*), que depois de afastar-se da planta desenvolve plantinhas em lugares preformados. Orig.

Muito conhecido é o caso da *"Fortuna"* (*Bryophyllum calycinum*, fig. 164), onde cada fôlha ou folíolo destacados podem formar nas margens em lugares predeterminados, uma nova plantinha. Há ainda outros exemplos que ilustram essa capacidade de reprodução das fôlhas. Os jardineiros cultivam, por exemplo, as *Begônias*, partindo de fragmentos de fôlhas. Na fig. 148, pág. 157, já foi demonstrado, como nesse caso uma ou poucas células da epiderme se transformam em ponto vegetativo do novo gomo.

Muitas espécies desenvolveram e acentuaram a capacidade de reprodução vegetativa, produzindo caules especiais, como os estolhos sôbre a terra e os rizomas e tubérculos subterrâneos (figs. 114, 129, págs. 131, 141), que servem para reprodução e multiplicação vegetativas.

Enxertia. — Em vez de plantar as mudas no solo, os jardineiros preferem, às vêzes, transplantar a muda (*cavaleiro*) para uma outra planta provida de raízes (*cavalo*), da mesma espécie ou de espécie parente. Os enxertos podem ser feitos de várias maneiras, das quais reproduzimos na fig. 165 as mais usadas. O essencial é que os cavaleiros possuam um ou mais gomos ou *"olhos"* e que a ligação dos tecidos se possa dar por união dos dois câmbios. Os *"garfos"* podem ser inseridos, lateralmente, sob a cortiça, como o indica a fig. 165, I, ou cavalo e cavaleiros são unidos por "copulação", às vêzes com uma *esquírula* para aumentar o contato. Na enxertia por borbulha, retira-se da planta, que deve ser multiplicada, um gomo lateral com a cortiça adjacente em forma de *"escudo"*. Êste é colocado sob a casca do cavalo que, para êste fim é cortado em T.

Ao cavalo devem, mais tarde, ser tirados todos os gomos, se não a seiva será conduzida a êles e não ao ôlho enxertado.

Pela enxertia, a muda já encontra um cavalo, munido de raízes, que pode alimentá-la. Às vêzes, pela cultura, escolhendo-se bem as espécies ou variedades que fornecem o cavalo, pode-se obter uma planta

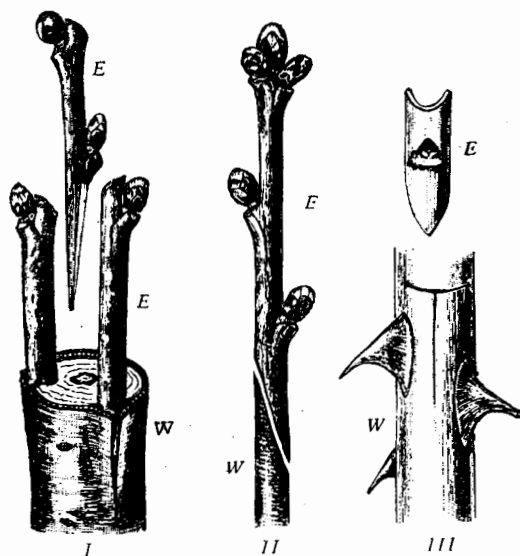



Fig. 165
Tipos de enxertia: *I*., de garfo; *II*, por copulação; *III*. de escudo ou borbulha; *W*, o cavalo; *E*, o enxêrto. Seg. Noll.

com raízes resistentes a certas doenças, que atacariam fàcilmente as raízes próprias da muda. Assim, os cavalos das parreiras geralmente são constituídos por parreiras americanas, cujas raízes resistem à *Phyllo-xera*, ao passo que as raízes das parreiras européias são muito atacadas por êste afídio. O mesmo se dá com a gomose provocada por fungos do gênero *Phytophthora* que não atacam as laranjeiras azêdas que servem de suporte às laranjeiras doces.

B. Reprodução sexuada

Copulação

O *processo sexual* consiste na união de duas células, isto é, na "copulação" destas. Copulação encontra-se em todos os grupos do reino animal e vegetal; só na classe das *Schizophytas*, que abrange as *Bacté-rias* e as *Cyanophyceas*, ainda não foi constatada com segurança. Nas algas verdes ou *Chlorophyceas* já se processa, mais ou menos com regu-laridade nos tipos unicelulares, como na *Chlamydomonas*. A fig. 166 mostra a copulação de uma *Tetraspora*, do mesmo grupo e de igual

comportamento. Vê-se a aproximação de duas células pelo lado que trás os flagelos (*a*); a união progressiva está representada em *b;* o processo termina com a formação de uma só célula que geralmente perde os flagelos, passando por um período de repouso. Para esta célula, isto é, o produto de uma copulação sexual, emprega-se em biologia o têrmo *zigoto* (1). As duas células que se unem chamam-se *gametas* (2).

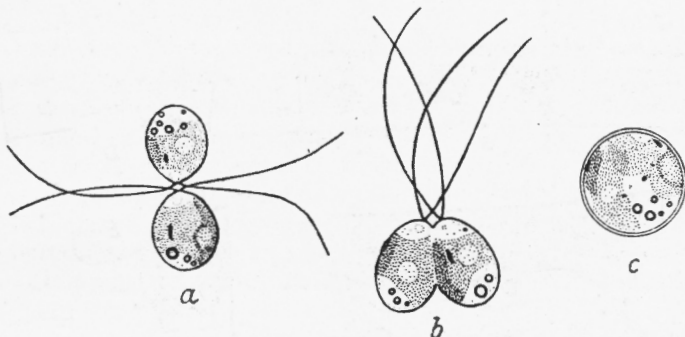



Fig. 166
Copulação isogamética de uma alga verde (*Tetraspora lubrica*): *a b*, estados consecutivos da fusão; *c*, zigoto (sem flagelos). Seg. Geitler.

O essencial na formação do zigoto é a copulação dos dois núcleos, que se segue à união das duas células (3). A fig. 167 representa os estados sucessivos da copulação numa *Diatomacea.*

Os gametas podem ter motilidade. Freqüentemente não diferem muito dos zoósporos vegetativos. Assim, as *Chlamydomonas,* as *Ulothrix* e muitas outras algas podem formar zoósporos vegetativos, que não copulam e outros, geralmente caracterizados por tamanho menor, que

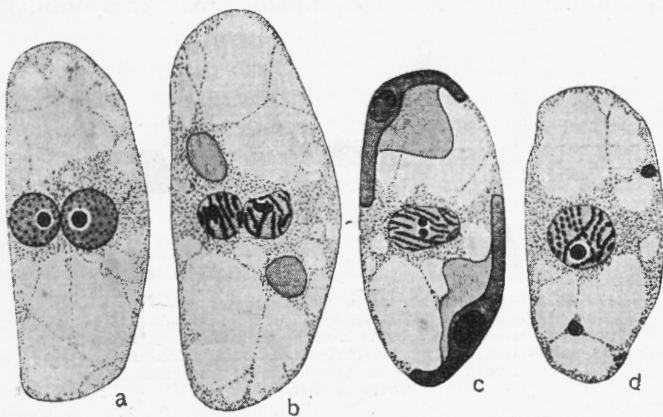



Fig. 167
Estados sucessivos da copulação dos núcleos no zigoto da *Diatomacea Cymbella cistula.* Seg. Cholnoky, ap. Geitler.

(1) *Zygoto,* do grego: *zeugnymi* = juntar, copular.
(2) *Gametas,* do grego: *gamein* = casar.
(3) Vide porém a interessante exceção que fazem os fungos superiores (pág. 195).

representam os gametas. Nestes grupos primitivos, a especialização dos gametas nem sempre é bem nítida, conhecendo-se gametas que, sem encontrar um parceiro, podem germinar vegetativamente.

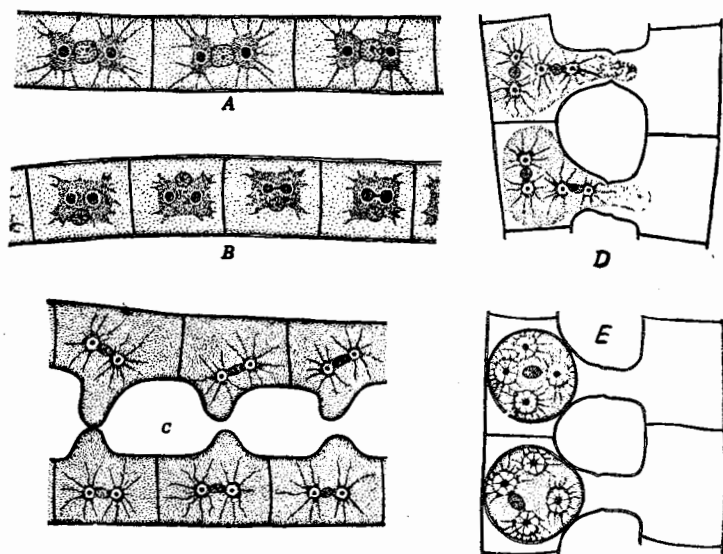



Fig. 168
Copulação de *Zygnema* (*Conjugatae*): *A*, células normais; *B*, início da contração dos cloroplastos; *C*, formação dos tubos de copulação; *D*, migração do conteúdo celular; *E*, zigotos formados. Seg. Smith.

Às vêzes as células que copulam não são móveis nem comparáveis a zoósporos. Assim na conjugação de *Spirogyra*, as células de dois fios vizinhos emitem protuberâncias que ao se unirem dissolvem as membranas separadoras resultando dêsse modo, canais contínuos. Por êstes

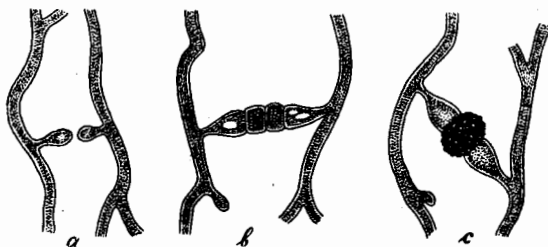



Fig. 169
Sporodinia grandis (*Zygomycetes*): *a*, aproximação das hifas que vão copular; *b*, as hifas, em contato, separaram as partes terminais; *c*, as partes terminais copularam formando o zigoto que se reveste de uma membrana forte. Seg. Kerner.

canais o conteúdo de uma célula passa para outra (havendo durante o processo, exosmose de água). O zigoto envolve-se por uma membrana tornando-se um zigósporo de repouso. Esta conjugação é típica para todo o grupo das *Conjugatae*. A fig. 168 representa a copulação de

Zygnema, parente do gênero *Spirogyra*, distinguindo-se dela pelos seus cloroplastos em forma de estrêla. Estas algas são freqüentes nas águas doces do Brasil.

Parecido é o comportamento de certos fungos, os *Zygomycetos* (fig. 169), onde duas hifas vizinhas formam protuberâncias comparáveis que, depois de entrar em contato, dissolvem a membrana separadora para formar uma nova célula de copulação, um zigoto. As hifas que copulam e os zigotos são plurinucleares.

Em todos êstes casos, os dois gametas não diferem entre si, pelo menos, não se distinguem morfològicamente. Neste caso falamos em *isogamia*. O tamanho dos gametas, quer tenham forma igual, como na isogamia, quer a tenham desigual, como na *anisogamia* ou *heterogamia* (1), que será caracterizada mais tarde, não é de importância essencial para o processo da copulação; de importância decisiva são os núcleos das duas células. E nestes, trata-se dos cromosomas, portadores das qualidades hereditárias. A genética nos ensina que, quanto à cromatina e quanto às qualidades transmitidas, os dois núcleos podem ser considerados como equiparados (2).

É importante notar que na copulação dos núcleos os cromosomas de cada núcleo continuam separados. Assim, o zigoto contém o duplo número de cromosomas dos gametas: o zigoto é "*diplóide*", os gametas são "*haplóides*" (3).

Redução

Na germinação do zigoto o número de cromosomas pode ser reduzido ao número haplóide, pela divisão de redução ou *meiose*, cujos pormenores se estudam na genética.

Aqui será suficiente lembrar que a *meiose* se processa de modo comparável a uma cariocinese normal. Na cariocinese normal, cada cromosoma é dividido em duas metades iguais, as "*cromatides*", por uma fenda longitudinal. São estas as duas metades que, na anafase, migram para os dois pólos, onde se formam os novos núcleos (fig. 62, pág. 96). Na meiose ou divisão de redução são *dois cromosomas inteiros* que se juntam de cada vez, *formando um par*. Na anafase da divisão são êsses cromosomas inteiros que se afastam para os pólos. Neste caso, durante a divisão do núcleo, não são metades de cromosomas, mas sim, cromosomas inteiros que são distribuídos aos dois núcleos-filhos. Êstes recebem, portanto, a metade dos cromosomas que existiam no início.

Assim, a fig. 170 mostra esquemàticamente a copulação de dois núcleos no interior de um zigoto. Os dois núcleos copulantes são haplóides, cada um apresentando no esquema três cromosomas. Cada um dos três cromosomas possui certa individualidade, sendo portador ou

---

(1) *Isogamia*, do grego: *isos* = igual; *anisos* e *heteros* = diferente, desigual.

(2) A única diferença nessa equiparação dos núcleos dos dois sexos se relaciona com o próprio sexo; o caráter masculino de um núcleo e o feminino de outro geralmente é determinado por um cromosoma ou parte de cromosoma, característico para o sexo.

(3) *Diplóide* e *haplóide* das palavras gregas: *diploos* = duplo; *haploos* = simples.

representante de um grupo definido de qualidades do pai ou da mãe. Em tôdas as células do organismo vegetal da mesma espécie, encontramos os cromosomas iguais, representando os mesmos grupos de qualidades. Cada núcleo tem a mesma dose, ou o mesmo "*set*" de cromosomas (1). Na copulação, duas dessas composições iguais são unidas, possuindo o núcleo do zigoto, agora, um duplo "*set*". Na meiose são dois *cromosomas homólogos* (2) que formam um par (fig. 170 *c*). Em *d* vemos o processo essencial de redução cromática: a anáfase separa os dois parceiros de cada par, que são cromosomas inteiros e não metades dêstes.

Fig. 170
Esquema da união e da separação dos cromosomas na copulação dos núcleos (*a*, *b*), e na divisão de redução ou meiose (*c*, *d*). Orig.

A citologia moderna tem indícios seguros para aceitar a idéia de que as qualidades hereditárias são representadas por unidades menores que compõem os cromosomas os "cromômeros". Estas unidades representam os gens (3). Como foi demonstrado especialmente pelo americano Morgan, os gens estão dispostos nos cromosomas em lugares determinados e em ordem linear. Não só o número de cromosomas é característico para as espécies como também o número e a distribuição dos gens para os diferentes cromosomas.

Na formação dos pares de cromosomas não são só os cromosomas correspondentes de pai e mãe que se aproximam, como também os cromômeros correspondentes. Vemos assim, que essa aproximação e formação de pares representa o último ato da copulação sexual. Esta é iniciada no ato que geralmente se chama copulação ou fecundação e que consiste da união de duas células. Segue-se a união e fusão dos dois núcleos e o ato final da copulação, devidamente considerado, deveria ser visto na aproximação dos cromosomas e cromômeros.

Durante esta aproximação, dão-se, às vêzes, trocas de fragmentos entre os cromosomas, trocas essas estudadas especialmente desde Morgan e denominadas "*crossing-over*".

(1) A exceção em relação ao caráter sexual da célula já foi mencionada acima.

(2) *Homólogo*, do grego: *homos* = igual; *logos* = palavra, denominação significando aqui dois cromosomas portadores dos mesmos grupos de caracteres; um dêsses cromosomas provém do pai, o outro da mãe do respectivo indivíduo.

(3) *Gen*, do grego: *gignomai* = originar-se. Devemos reservar o nome de « gen » quando tratarmos das qualidades, ao passo que os representantes destas, no sentido morfológico, são os cromômeros.

Os lugares predestinados para tais trocas são os pontos onde os cromosomas, na aproximação íntima, se entrelaçam, formando os "quiasmas" (1).

Os processos complicados que se desenrolam durante esta fase da meiose ainda não estão totalmente esclarecidos. Hoje em dia a fase de conjugação dos cromosomas é apresentada da maneira seguinte: no núcleo que deve sofrer a divisão de redução, os cromosomas se diferenciam em filamentos bem distintos, filamentos êsses que, como nas divisões normais, se compõem sempre dos mesmos elementos, cromômeros, cuja disposição aliás é bem definida nos respectivos cromosomas. Já antes da conjugação, observa-se uma divisão longitudinal de cada cromosoma em 2 cromatides ou cromonemas. A conjugação se dá, portanto, não entre 2 cromosomas inteiros, mas entre 4 metades, que se unem alternativamente duas a duas. Durante a conjugação observa-se o conhecido enrolamento e encurtamento dos cromosomas. Só depois de terminada a conjugação, verifica-se, por vêzes, que houve troca de fragmentos entre as metades resultantes da divisão, isto é, à formação de quiasmas. Hoje sabemos que êsse *"crossing-over"* só se dá entre as metades resultantes da divisão longitudinal e não entre os cromosomas inteiros.

O *"crossing-over"* constitui, porém, uma exceção; geralmente, os cromosomas com todos os gens permanecem inalterados, de modo que a meiose distribui os cromosomas intatos para os núcleos filhos, recebendo cada um dêles cromosomas que são em parte de origem materna, em parte paterna. Essa distribuição dos cromosomas na meiose e a troca eventual de gens formam a base morfológica da transmissão de caracteres, estudada na genética.

A julgar pela freqüência e regularidade com que se dão, os processos sexuais devem desempenhar papel importantíssimo na vida de todos os sêres vivos. Qual a função que exercem na vida, isso constitui, até hoje, um problema difícil e de grande alcance. Muitos biologistas contentam-se, hoje, em dizer que a combinação dos gens na meiose seria o fim e a utilidade da união sexual, combinando-se, dessa maneira, gens de variadíssima proveniência que, na meiose, são distribuídos em agrupamentos diversos. Quando fôr formado, por mutação um gen novo, êste aparecerá logo em tôdas as combinações possíveis que então servirão de base para a seleção e para evolução de subspécies e espécies novas.

Haplofase e diplofase

Pela redução dos cromosomas, o estado haplóide dos núcleos é restabelecido. A planta encontra-se, agora, no estado da *"haplofase"*. Várias vêzes, como no esquema, a divisão de redução dá-se imediatamente após a copulação, limitando-se a *"diplofase"* ao estado do zigoto. Por exemplo, o zigoto da *Spirogyra* começa a germinação com a divisão de redução e todos os fios vegetativos de uma *Spirogyra* possuem núcleos haplóides. Na maioria dos casos, porém, o processo não é tão simples: o núcleo do zigoto, ao germinar, não reduz o número dos cromosomas. Sofre divisões ou cariocineses normais, das quais resulta uma planta diplóide com núcleos diplóides.

---

(1) *Chiasma*, da letra grega X: em forma da letra X.

As *Diatomaceas,* por exemplo, adiam a redução até a formação de novos gametas. O zigoto e tôdas as células que derivam dêle por divisões vegetativas são diplóides. Só quando novamente se formam gametas, os núcleos sofrem a redução. A biologia denomina diplobiontes os sêres cujo ciclo vital (até a reprodução sexual) se passa no estado diplóide. Os de comportamento da *Spirogyra* são haplobiontes. Os animais e as plantas superiores são sêres diplobiônticos. A maioria das plantas *cryptogamicas* — como veremos adiante — passam sua vida em dois estados ou duas gerações diferentes, uma haplôntica e outra diplôntica, alternando então a haplo e a diplofase (*Haplodiplobiontes*). Para a genética essa divisão é muito importante. Os caracteres dos indivíduos dependem dos seus gens. Na diplofase cada qualidade é representada por dois gens, um de origem materna e outro de proveniência paterna. Na haplofase cada qualidade aparece apenas uma vez, quer representada por um gen paterno, quer por um materno. Por isso, a análise genética de organismos haplóides é mais simples e dá resultados mais claros do que a de diplóides. As plantas inferiores são por isso especialmente indicadas para a solução de muitos problemas genéticos.

2. DESENVOLVIMENTO DOS ÓRGÃOS REPRODUTORES

(Explicado através da série filogenética)

As particularidades com que se dá a reprodução, especialmente a reprodução sexual nas plantas, geralmente são características para cada grupo sistemático. Talvez, fôsse mais adequado dizer que a sistemática divide os grupos, baseando-se principalmente nas peculiaridades de reprodução e na morfologia dos órgãos reprodutores. Por isso o estudo dos órgãos reprodutores e o estudo sistemático dos grandes grupos são equivalentes.

A. Algumas observações breves sôbre Sistemática e Filogenia

Desde a época de Charles Darwin, os sistemáticos estão empenhados em ordenar os grupos segundo seu parentesco natural, elaborando uma espécie de árvore genealógica que liga as ordens, famílias, gêneros e espécies, segundo sua provável descendência e, por assim dizer, sua "consangüinidade". Como critério serve, para êsse fim, a maior ou menor concordância ou semelhança entre os indivíduos. Assim, se êstes se parecem de tal maneira que não é fácil constatar diferenças entre êles, unimos êsses indivíduos sob o conceito geral de espécie. Trata-se, quanto ao conceito de espécie, de uma abstração nossa, abstração essa que, entretanto, é confirmada por um fato real e objetivo: a possibilidade de reprodução sexual entre os indivíduos que compõem a espécie.

A espécie não é, porém, a menor unidade sistemática. Como a espécie humana, também as dos animais e vegetais podem ser subdivididas em raças ou variedades ou, segundo a terminologia biológica moderna, em *subespécies*. Assim, tomemos como exemplo a Bananeira mais cultivada no Brasil, que é a *Musa paradisíaca*. Desta espécie fazem parte muitas subespécies, tais como a banana prata, a maçã, a ouro, etc., ao passo que a banana nanica pertence a outra espécie, a *M. Cavendishii*. As diferenças entre as subespécies são muito pequenas, no sentido sistemático, e se não fôssem comestíveis, mal seriam distinguidas por nós. Contudo, também as espécies não cultivadas quase sempre permitem reconhecer uma divisão ulterior em subespécies caracterizadas por ligeiras diferenças hereditárias. Geralmente, não há dúvida que tais pequenos grupos ainda devem ser abrangidos numa mesma espécie e normalmente o cruzamento entre os representantes de diferentes subespécies se dá sem dificuldade.

A mesma relação que une as subespécies em espécies, reúne, por sua vez, as espécies em maiores unidades, os *gêneros*. Assim, existem, por exemplo, várias espécies de Maracujá, do gênero *Passiflora* (fig. 258, pág. 250). Tôdas são trepadeiras, com porte semelhante, tôdas têm flores do mesmo tipo e o leigo, em presença de qualquer espécie nunca tem dúvida de que se trata de um Maracujá. Porém, no tamanho e nas particularidades das fôlhas, da flor e do fruto há diferenças tão evidentes que já não podemos mais falar em raças, mas sim, em espécies diferentes. Assim, o conceito de gênero constitui uma nova abstração, um novo conceito geral que abrange as espécies mais parecidas entre si. Entre as diversas espécies de um gênero a fertilidade geralmente já não existe ou, muitas vêzes, o cruzamento se dá com dificuldade. Assim, perde-se o único critério objetivo que possuímos, quanto à afinidade e ao parentesco das espécies.

À medida que decresce a semelhança, temos, então, que formar grupos maiores e mais gerais, as *famílias*. Muitas vêzes, a participação de vários gêneros numa família está fora de dúvida, como no caso das *Orchidaceas*, das *Papilionaceas* e muitas outras. Em outros casos, porém, precisamos estudar mais de perto as qualidades para achar a família de um certo gênero.

As famílias, por sua vez, estão agrupadas em ordens ou séries, estas em *classes* e os conceitos superiores seguintes são os de "*divisio*" e "*phylum*". Nestes últimos grupos a subordinação é tão abstrata e subjetiva, que nos livros sistemáticos, a coordenação e subordinação variam segundo os Autores.

Mostramos no esquema da Bananeira (pág. 180) como uma planta pode ser colocada nos quadros da sistemática.

Os nomes das famílias geralmente terminam em *...aceae* (singular *...acea*), sendo o nome tirado de um gênero protótipo como *Liliaceae*, de *Lilium*, Rosaceae de *Rosa*. As ordens derivam os nomes em geral de uma das suas famílias, como *Liliiflorae* de *Liliaceae* e *Rosiflorae* de *Rosaceae*. Muito usadas são para elas também as terminações em *...ineae* ou *...ales*. Os nomes latinos de espécies e gêneros são consagrados — também quanto à ortografia — pelas regras internacionais de nomenclatura, regras estas que neste livro foram respeitadas também para famílias e ordens.

Banana prata (sub-spec.)							
Banana maçã (sub-sp.)	*Musa paradis.* (species)						
Banana ouro (sub-sp.)							
	Musa Cavend. (spec.)	*Musa* (genus)					
	Musa Ensete (spec.)						
	etc.						
		Heliconia (genus)	*Musaceae* (família)				
		Ravenala (genus)					
		etc.					
			Zingiberaceae (família)	*Scitamineae* (ordo)			
			Cannaceae (família)		*Monocotyl.* (classis)		
			Marantaceae (família)				
						Angiosp. (divisio)	
				Helobiae *Glumiflorae* *Spadiciflorae* *Enantioblastae* *Liliiflorae* *Gynandrae* (ordines)	*Dicotyled.* (classis)	*Gymnosp.* (divisio)	*Phanerog.*

Esquema da colocação sistemática de uma espécie (exemplo: *Musa paradisiaca*), mostrando a subordinação e coordenação dos grupos no sistema.

A coòrdenação dos grupos que forma a base da botânica sistemática é a seguinte:

A — *Cryptogamae*

- I — Schizophyceae
  - 1 — Cyanophyceae
  - 2 — Bactéria
- II — Thallophyta
  - 1 — Algae
  - 2 — Fungi
    (Lichenes)
- III — Bryophyta
- IV — Pteridophyta

B — *Phanerogamae*

- I — Gymnospermae
- II — Angiospermae
  - 1 — Monocotyledoneae
  - 2 — Dicotyledoneae

Na base do desenvolvimento filogenético estão, sem dúvida, as *Thallophytas,* com as *Algas.* Dos vários grupos destas derivam, de um lado, os *Fungos,* do outro as *Bryophytas* e as *Pteridophytas.* Não há dúvida de que as *Phanerogamas* representam uma evolução progressiva destas e, (em última análise), a origem de tôdas as plantas superiores deve se encontrar no grupo das *Algas* (vide também pág. 80).

Se compararmos o sistema acima a uma árvore, podemos dizer que as raízes, sem dúvida, são formadas pelo grupo primitivo das *Algas.* Daí para cima seguem as *Bryophytas,* as *Pteridophytas,* as *Gymnospermas,* etc. É verdade que a nossa árvore genealógica pròpriamente dita não seria uma árvore com um só tronco, mas, antes, um arbusto com muitos troncos e inúmeras ramificações — caso não se trate de fato de vários arbustos com raízes diferentes —. Cada um dêsses troncos representaria um "phylum". As ramificações principais seriam "divisões", "classes", etc. e as ramificações extremas seriam as "espécies".

A imagem da árvore genealógica deve, entretanto, ser empregada com muita reserva. Esta só poderia dar uma idéia exata das relações que existem entre as espécies, se conhecêssemos tôdas as formas que existiram desde o início da vida no nosso planêta e se verdadeiramente tôdas descendessem de uma base comum. As formas recentes, porém, são tôdas derivadas; nenhuma é perfeitamente primitiva e os chamados grupos primitivos só conservaram algumas qualidades mais primitivas do que as outras.

Se a Botânica geralmente apresenta seu sistema natural como uma seriação filogenética, esta reflete mais uma tendência subjetiva, do que conhecimentos objetivos. Colocando na base os grupos com caracteres mais primitivos, ligamos a êles, sucessivamente, os grupos cada vez mais

desenvolvidos e com caracteres mais complexos, supondo que assim reconstruímos mais ou menos a evolução histórica. Contudo, parece que, em linhas gerais, a paleontologia concorda com êsse quadro.

O nosso sistema representa, assim, uma marcha ascendente do simples e primitivo para o complexo e derivado. Em traços bem gerais podemos aceitar a idéia de ter o desenvolvimento histórico seguido mais ou menos a evolução assim traçada.

A organização e o funcionamento de organismos complexos sempre se compreende através de organismos mais simples e primitivos. Isso é verdade em relação a tôda a anatomia e morfologia vegetais, mas diz especialmente respeito à compreensão da reprodução sexual. Começando com os grupos mais primitivos, constatamos ainda a falta de sexualidade. Os grupos seguintes já mostram reprodução sexual mas ainda de forma simples. Depois, constatamos em todos os grupos uma complicação crescente. Nos grupos mais elevados, nas *Phanerogamas,* o afastamento dos processos primitivos é tão grande, que sem o auxílio dos grupos *cryptogamicos* a interpretação seria impossível. Assim, todo o capítulo da sexualidade dos vegetais, como também o da sistemática, só pode ser estudado, começando com o das *Thallophytas* e acompanhando o desenvolvimento paulatino que a reprodução sexual sofreu durante a evolução da vida das plantas.

B. Grupos sem sexualidade

O grupo que reúne os caracteres mais primitivos é, sem dúvida, o dos *Schizophytas* (1), composto pelas classes das *Bactérias* e das *Schizophyceas* (vide pág. 80).

A primitividade dêsse grupo conhece-se pela ausência de núcleos celulares e de cromatóforos diferenciados. Morfològicamente, são organismos unicelulares ou formam colônias pouco diferenciadas, onde geralmente falta a divisão de trabalho entre as células. Reprodução sexual neste grupo não é conhecida.

Schizophyceae. — As *Schizophyceae* (fig. 171), também chamadas *Cyanophyceae* ou *Myxophyceae* (2), possuem clorofila e ainda outros pigmentos ativos na fotossíntese, especialmente um azulado, a ficociana, à qual devem sua côr característica verde-azulado (vide pág. 37). Êsses pigmentos estão dissolvidos difusamente na parte exterior do protoplasma das células, que, por isso, é chamada *cromatoplasma.* A parte interna, incolor, é chamada *centroplasma;* não é possível distinguir nem núcleo, nem cromatóforos; há sòmente algumas inclusões, como *glicogênio, volutina* e outras substâncias que provàvelmente constituem material de reserva.

---

(1) *Schizophyta,* do grego: *schizein* = fender; *phyton* = o que cresce, planta.
(2) Do grego: *cyanos* = azul; *phycos* = alga; *Myxa* = mucilagem.

A reprodução, num caso típico, se dá por divisão das células. estrangulando-se primeiramente o cromatoplasma e depois o centroplasma.

Depois da divisão, as células podem se separar; neste caso, a planta vive no estado unicelular. Muitas vêzes os derivados da divisão podem ficar ligados por uma membrana ou bainha comum de substâncias pécticas, que têm o poder de forte hidratação. Tais colônias podem ser desordenadas ou podem apresentar o aspecto de cubos, esferas, etc. Quando a divisão se dá sempre numa mesma direção resultam colônias em fios.

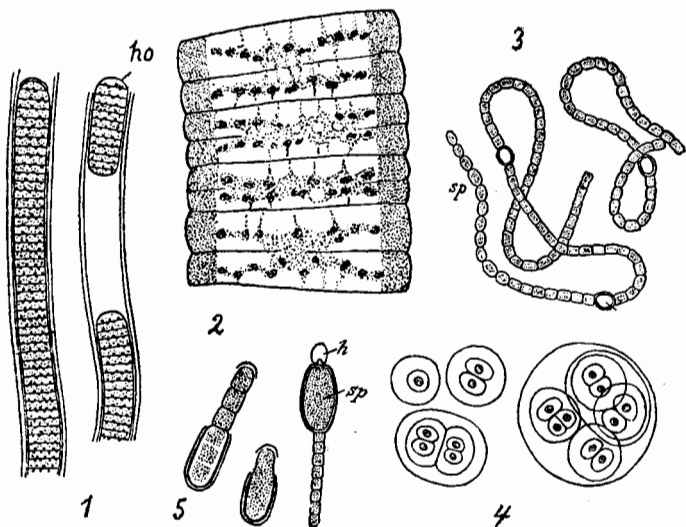



Fig. 171

Cyanophyceae: 1, Lyngbya aestuarii; 2, Oscillaria princeps; 3, Nostoc verrucosum; 4, Gloeocapsa sanguinea; 5, Cylindrospermum stagnale; sp, esporos; *h,* heterocisto; *ho,* hormogônio. Seg. Wettstein, Smith e Cooke.

A divisão de trabalho falta quase absolutamente, como já foi dito na pág. 83 e segs., quer dizer, tôdas as células exercem, ao mesmo tempo, a função da própria alimentação e da divisão. Ainda não existe a diferença entre uma célula apical, meristemática e as células adultas que só teriam função de alimentação. Tôdas as células conservam êsse caráter meristemático que as torna capazes de dividir-se.

A única divisão de trabalho que pode ser encontrada consiste na formação de *esporos* e *heterocistos*. Os esporos são células maiores, revestidas de uma membrana mais resistente e servem para a conservação da espécie nas épocas sêcas, quando tôdas as outras células vegetativas perecem. Os heterocistos são células de função problemática que, em certas espécies filamentosas, são formadas entre as células vegetativas e que geralmente não se dividem. Quando os fios se fragmentam, geralmente será nesse lugar que a fragmentação se dá.

A fragmentação dos fios é um meio de propagação vegetativa. Nas espécies em que os fios estão incluídos em bainhas comuns, tais fragmen-

tos podem sair da bainha e por sua vez se transformam em novos fios. Outras vêzes, os fios que rompem a bainha comum, formam *pseudo-ramificações,* já mencionadas na pág. 84. Nas espécies filiformes, a divisão geralmente se dá numa só direção, excluindo-se, assim, a ramificação verdadeira, que só existe em poucos casos (*Stigonemataceae*).

As *Cyanophyceas* não têm órgãos locomotores, nem flagelos ou cílios como os *Flagellata,* nem formam pseudopódios, como acontece com as *Amoebas.* As formas filamentosas, do grupo das *Oscillariaceae* são, porém, caracterizadas por um movimento oscilatório, que provàvelmente se dá por contrações e dilatações alternativas do protoplasma.

Schizomycetes (1) **ou *Bactérias*** (2). -- As *Bactérias* distinguem-se das *Cyanophyceas* por ausência de pigmentos que as obriga, na maioria dos casos, a uma vida heterótrofa. Suas células geralmente são menores (fig. 172), e às vêzes são tão pequenas que atingem o limite da visibilidade microscópica. Como as *Cyanophyceas,* parece que não possuem núcleos. Em muitas espécies, porém, observamos uma qualidade que torna duvidosa a primitividade do grupo, a saber: a existência de flagelos que servem para locomoção relativamente rápida. Como as *Cyanophyceas* e como foi mencionada na pág. 81, podem ser unicelulares ou reunidas em colônias de vários aspectos; como aquelas, só têm um tipo de reprodução, a vegetativa, por divisão das células. Quanto à reprodução por esporos, êstes se encontram em várias espécies, onde são formados sempre no interior das células, por contração do conteúdo. Copulação sexual foi descrita várias vêzes, mas nunca com confirmação certa. As particularidades do metabolismo já foram descritas na pág. 44, onde também ficamos conhecendo os processos de quimiossíntese e outros casos de metabolismo, que divergem do normal. Se se trata, neste caso de capacidades primitivas que permitiram a êsses organismos a existência em nosso planêta, quando êste ainda se encontrava nas primeiras épocas do seu desenvolvimento, ou se se trata de capacidades adquiridas muito mais tarde, isso constitui ainda uma questão problemática. O mesmo pode ser dito quanto à capacidade excepcional de certas *Schizophytas* de tolerar temperaturas muito elevadas. É suficiente salientar que todo o grupo, sem dúvida, possui caracteres bem primitivos, entre os quais podemos contar a falta de processos sexuais.

Fig. 172
Tipos de bactérias: *a, Coccus; b, Micrococcus; c, Sarcina; d, Streptococcus; e, Bacillus subtilis; f, B. subtilis, estado flagelado; g, Planococcus; h, Pseudomonas, i, Spirillum.* Orig.

---

(1) Do grego: *schizein* = fender; *mycos* = fungo.
(2) Do grego: *bacter* = bastonete.

A importância das bactérias para a vida do nosso planêta é muito grande. São elas especialmente os organismos que decompõem as substâncias orgânicas, acumuladas pela assimilação das plantas autótrofas. Encontram-se no mar e na água doce, no brejo e na terra e em qualquer parte onde haja restos orgânicos para serem decompostos e onde possam exercer seu saprofitismo. Algumas espécies são parasitas, que provocam doenças contagiosas e cujo estudo forma uma disciplina especial na Medicina.

Flagelados. — Grupos de sêres vivos sem reprodução sexual conhecida existem também na classe dos Flagelados (*Flagellata*).

As formas variadas que compõem esta classe são pequenos organismos unicelulares, possuindo núcleo e flagelos. Além disso podem existir cromatóforos com pigmentos fotossintéticos, clorofila ou ficofeína. As formas nas quais faltam tais pigmentos são heterotróficas, sendo incluídas no reino animal. As que fazem fotossíntese, costumamos incluir nas Algas, no reino vegetal.

Os limites entre o reino animal e o vegetal se confundem. Os organismos autótrofos geralmente são considerados como plantas. *Heterotrofia* ainda não é suficiente para caracterizar um organismo como *animal,* como vemos no caso das *bactérias,* dos *fungos* e em outros exemplos. *Motilidade,* por si, também não é suficiente para caracterizar os animais; muitas *algas* e *bactérias* têm flagelos, pelo menos em certos estados de sua vida, o mesmo acontecendo com os anterozóides encontrados até em plantas superiores. *Contractilidade* do protoplasma que produz movimentos convulsivos, geralmente é considerada como indício de animalidade; os flagelos de células vegetais possuem porém, tal contractilidade, que mostram também êsse critério não ser decisivo. A existência de uma bôca, com a qual a prêsa pode ser engolida, o que permite a assimilação de substâncias sólidas, é um caráter mais nìtidamente zoológico. Às vêzes, todos êsses critérios se combinam de uma maneira que é difícil decidir se se trata de uma planta ou de um animal.

Os flagelados portanto são grupos intermediários aos quais chamamos também Protistas, para indicar que os colocamos perto do início da árvore genealógica que conduz a ambos os reinos.

A sua divisão sistemática é duvidosa porque as séries que começam com flagelados nítidos podem conduzir sem interrupção a grupos especializados superiores. Não é duvidoso que tenham parentesco com as *Amoebas* (fig. 173) que são tratadas entre os *Rhizopodas,* na zoologia (1).

Os *Flagelados* geralmente não mostram movimento amebiano; seus flagelos podem ser interpretados como derivados de pseudópodos muito finos, permanentes num lugar determinado. A fig. 174 mostra um flagelado vegetal, o *Ochromonas,* em que a transição de pseudópodos para flagelos pode ser observada. Neste o movimento contráctil e locomotor finalmente é restringido aos flagelos.

Ochromonas pertence ao grupo das *Chrysomonadales* (2) assim chamados por causa dos pigmentos amarelos do tipo das ficofeínas.

---

(1) Em água com restos orgânicos quase sempre se desenvolvem e podem ser demonstrados seus *movimentos amebianos;* estendem e retraem os pseudópodos, com os que podem contornar, com movimentos similares aos de um líquido, corpos orgânicos, bactérias, pequenas algas, etc., que engolem dessa maneira.

(2) *Chrysos* = ouro; *monas* = unidade, que vive isoladamente (unicelular).

Cloroplastos verdes encontramos nas *Euglenales;* as *Euglenas* são encontradas em águas putrefatas (1). Algumas espécies do gênero *Euglena* são heterótrofas e incolores; outras têm corpúsculos clorofilianos.

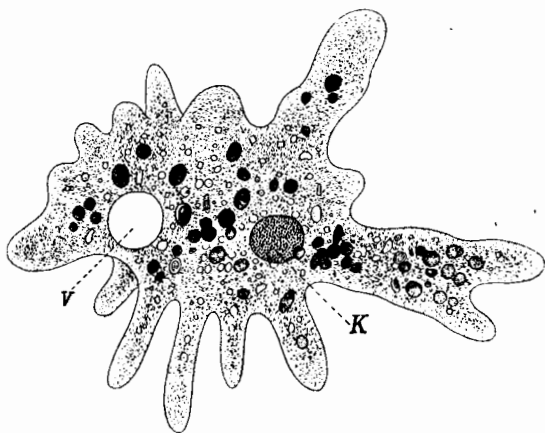



Fig. 173
Amoeba proteus: V, vacúolo; *K,* núcleo. Seg. Gruber.

sendo autótrofas. Mas, tôdas têm contractilidade e até mostram no ápice, onde se insere, uma cova, quase como uma bôca. Ainda que as *Euglenas* tenham caráter mais animal do que vegetal, o gênero *Phacus* (fig. 175) freqüente n'água doce, do mesmo grupo e evidentemente parente da *Euglena,* apresenta caracteres mais vegetais. Suas espécies sempre têm cloroplastos, sua contractilidade é quase nula, mas ainda persiste a abertura bucal.

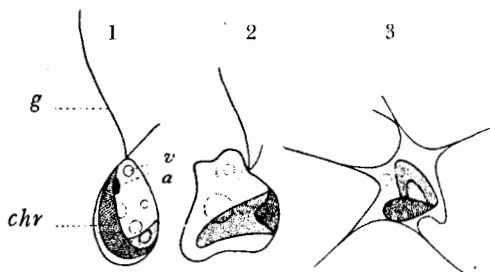



Fig. 174
Um flagelado vegetal (*Ochromonas,* do grupo das *Chrysomonadales*): 1, estado flagelado, 2 e 3, transição do mesmo indivíduo para o estado amebiano; *g,* flagelo (neste grupo os 2 flagelos são desiguais); *chr,* cromatóforo amarelo-pardo; *a,* estigma; *v,* vacúolo. Seg. Pascher.

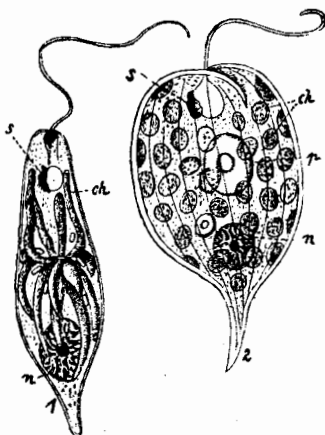



Fig. 175
Euglena viridis (*1*) e *Phacus Pleuronectes* (*2*), ambas do grupo das *Eugleninae: n,* núcleos; *s,* estigma; *ch,* cromatóforos; *p,* paramilo. Seg. Senn, ap. Wettstein.

(1) Para cultivar *Euglenas,* colocamos, durante alguns dias, num lugar sombrio (janela-sul), um vidro contendo água de torneira, um pouco de terra e algumas substâncias orgânicas (casca de queijo, ervilhas, estrume, etc.). Nêle se desenvolvem também bactérias (*Spirillum*). *Chlamydomonas,* etc.

Outro grupo verde, as *Volvocales,* será melhor incluído nas *Chlorophyceae,* entre as algas. A êle pertencem as Chlamydomonas (pág. 153, fig. 144) e as *Haematococcus.* Êsse grupo possui sexualidade desde a isogamia até a oogamia (*Volvox,* fig. 40).

C. Sexualidade nas algas

Isogamia, heterogamia e oogamia

As *Algas,* em que encontramos pela primeira vez processos de sexualidade acham-se bem próximas, filogenèticamente, dos *Flagelados.* O modo mais primitivo de copulação é, sem dúvida, o da *isogamia,* caracterizada na pág. 172. Ao conceito da *isogamia* temos, porém que acrescentar uma restrição importante. Hoje sabemos que os isogametas, na verdade, se distinguem fisiològicamente e que só gametas de "sexo" diferente é que copulam. É verdade que êsse sexo não pode ser distinguido pelo aspecto ou pela morfologia externa dos copulantes, mas, ao se unirem, vê-se que qualquer gameta não copula com qualquer outro: sempre podem ser distinguidos dois grupos, cujo comportamento é o de dois sexos diferentes; só copulam os gametas de um grupo com os do grupo oposto. Na ausência de caracteres morfológicos, não podemos atribuir a êsses grupos o nome de masculino e feminino, contentamo-nos com os sinais + e − para denominá-los.

A natureza não demorou muito tempo no estado de isogamia morfológica; nos diversos grupos de vegetais, podemos acompanhar a transição de isogamia para *heterogamia* e *oogamia.* As nossas figs. 176-180 mostram tal desenvolvimento no grupo das *Algas pardas* (1), (*Phaeophyceae*) que servem como exemplo clássico. A alga *Ectocarpus* é uma *Phaeophycea* de organização muito simples, com talos de fios ramificados, que pode ser encontrada nas rochas da costa do Brasil. Os gametas podem ser formados em qualquer lugar nos fios, ou em gametângios pluriloculares, cuja diferenciação se vê na fig. 176. Os gametas de um gametângio só copulam com os que provêm de outro do sexo oposto. A morfologia dos gametângios não mostra diferenças de sexo. Fisiològicamente, porém, um dos sexos mostra um comportamento diferente que já podemos chamar feminino: os gametas fixam-se logo, ao passo que o outro sexo continua com motilidade, rodeando os parceiros, como mostra a fig. 177. Observamos, assim, *isogamia morfológica,* mas *heterogamia fisiológica* bem pronunciada.

A alga *Cutleria* mostra um tipo mais adiantado: os gametângios são morfològicamente diferentes e os gametas nêles formados diferem pelo tamanho (figs. 178 e 179). Os grandes, ainda munidos de 2 flagelos, são os femininos e podem ser chamados *oosferas;* os pequenos, masculinos, *anterozóides.* A isogamia transformou-se em *heterogamia morfológica.*

---

(1) As algas pardas, geralmente marinhas, formam o grupo das *Phaeophyceae,* do grego, *phaeos* = pardo, castanho; ao passo que as vermelhas são as *Rhodophyceae,* do grego, *rhodos* = vermelho.

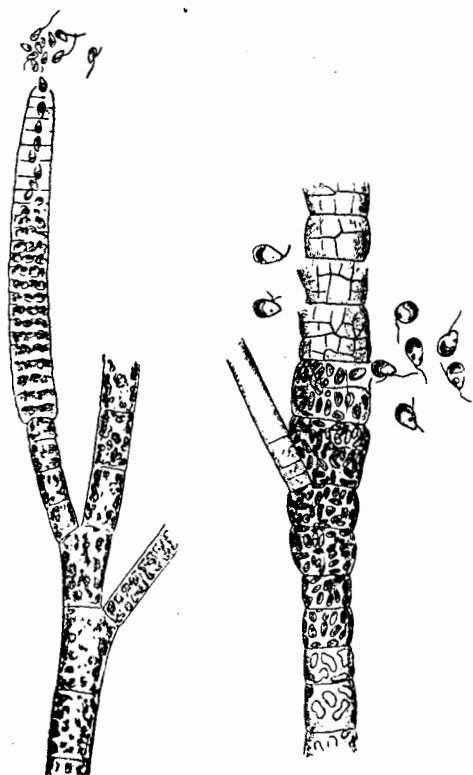



Fig. 176

Ectocarpus siliculosus (1) e *Kjellmania sorifera* (2) ambas do grupo das *Ectocarpales* (*Phaeophyceae*) com gametângios pluriloculares e gametas livres. Seg. Thuret ap. Oltmanns.

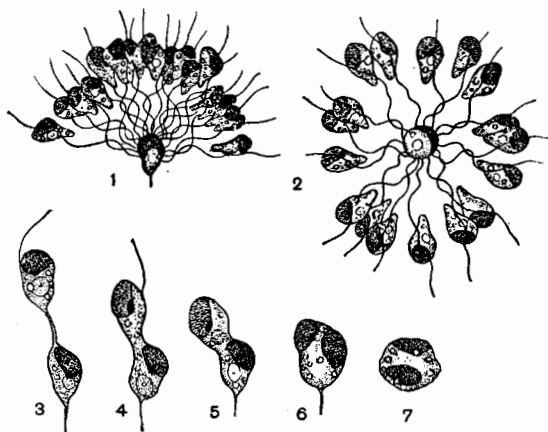



Fig. 177

Ectocarpus siliculosus. Copulação de gametas: 1 e 2, formação dos grupos em redor de gametas « femininos »; 3 a 7, estados de fusão. Seg. Berthold e Oltmanns.

No caso da *Dictyota, Phaeophycea* também, representada nas costas do Brasil, a transformação tornou-se mais completa ainda, apresentando-se já as oosferas sem flagelos e portanto imóveis. São tão grandes que os gametângios femininos ou "oogônios" formam cada um uma só oosfera,

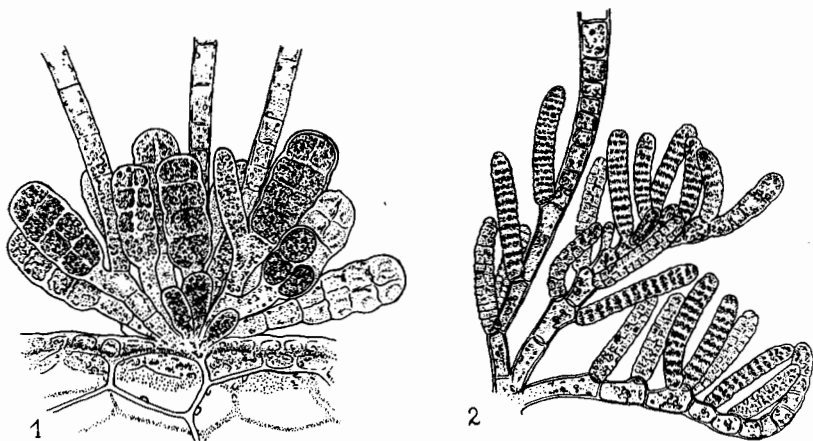



Fig. 178
Cutleria multifida (Phaeophyceae): 1, gametângios femininos, (oogônios); 2, gametângios masculinos (anterídios). Seg. Thuret e Reinke, ap. Oltmanns.

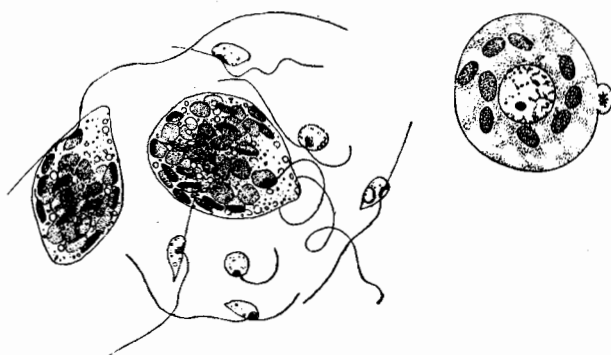



Fig. 179
Cutleria multifida. Copulação. Seg. Kuckuck e Yamanouchi.

como se vê pelo grupo de oito oogônios da fig. 180. Os gametângios masculinos ou *anterídios* (1) mostram-se muito subdivididos; a fig. 180 mostra um grupo rodeado por algumas células estéreis, protetoras, provenientes da epiderme.

Essa transição de isogamia, através da heterogamia, para oogamia, ocorre também em outros grupos do reino vegetal e animal; para compreender seu significado é preciso lembrar que o encontro dos gametas de sexo diferente se dá por quimiotactismo (vide pág. 153). Os

(1) *Antheridio* = parecido com *Anthera* (vide pág. 219).

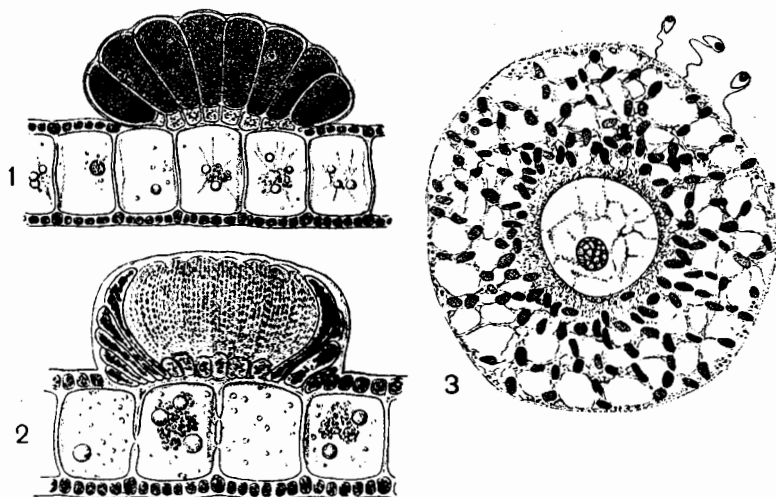



Fig. 180
Dictyota dichotoma. Corte transv. do talo: 1, gametófito feminino mostrando 8 oogônios cada um com uma grande oosfera; 2, gametófito masc. mostrando anterídios, cada um com muitas células produtoras de anterozóides; 3, ôvo no momento da fecundação. Seg. Thuret e Williams, ap. Oltmanns.

gametas excretam substâncias que exercem atração sôbre o sexo oposto. É compreensível que se tal atração fôr exercida por um organismo em movimento, perde parte de sua eficiência: o organismo atraído pode encaminhar-se para um lugar que talvez já tenha sido abandonado pelo emissor. Na oogamia só os gametas femininos emitem substâncias eficientes, cuja composição química já foi determinada em certas formas.

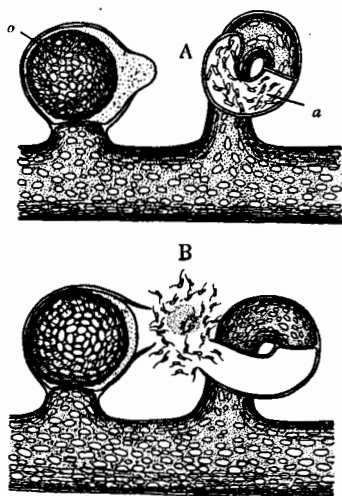



Fig. 181
Vaucheria sessilis, alga verde freqüente em estufas, com anterídio (*a*) e oogônio (*o*); *A*, antes e *B* no momento da fecundação.
Seg. Oltmanns.

A diferenciação esboçada pela perda de motilidade dos gametas femininos foi utilizada pela natureza para introdução de outras diferenciações sexuais: as oosferas, renunciando à motilidade, podem tornar-se mais volumosas, armazenando as reservas imprescindíveis para a germinação subseqüente do zigoto. Aos anterozóides cabe o trabalho da procura dos parceiros. São pequenos, ágeis e a natureza pode produzi-los em grande quantidade, aumentando, assim, a possibilidade de pelo menos um encontrar uma oosfera.

A fig. 181 apresenta outro caso instrutivo de oogamia, desta vez numa alga verde, a *Vaucheria,* gênero cujos fios verdes são freqüentes em terra húmida

e nos vasos cultivados nas estufas do Brasil. Aí desenvolvem-se os oogônios e anterídios em forma de ramificações laterais, geralmente próximos uns dos outros. Os oogônios contêm uma só oosfera; os anterídios formados na ponta de uma ramificação contêm muitos anterozóides. A abertura de ambos os órgãos se dá durante a noite e durante a noite podemos observar a fecundação que se processa no interior do oogônio. Um único anterozóide penetra na oosfera que em seguida se circunda com uma membrana. O núcleo no anterozóide logo copula com o único núcleo da oosfera.

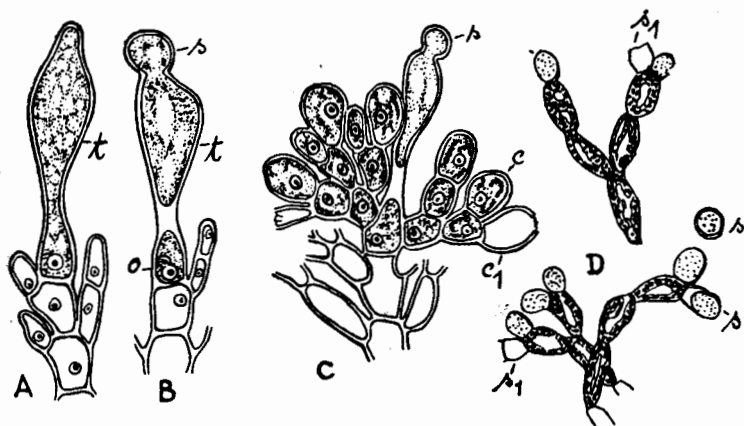



Fig. 182

Batrachospermum moniliforme. A, carpogônio na extremidade de um ramo; *t*, trichogyne; B, carpogônio fecundado por um espermátio *s*, em o copulação dos núcleos sexuais; C, carpogônio com carposporos *c*; c_1, carpososporângio vazio; D, ramos com espermatângios formando cada um espermátio *s*; s_1, espermatângios vazios. Seg. Strasburger e Kylin.

Nas *Rhodophyceae* ou algas vermelhas só conhecemos a òogamia. Além da célula feminina basal, existe outra, apical, a "*trichogyne*" (1), que funciona como o estigma das plantas superiores; as células masculinas são "*espermatios*", sem motalidade própria, cada um dêles formado em uma célula apical (*espermatângio*), (fig. 182). Levados pelo movimento da água, atingem os órgãos femininos fixando-se na tricogine. O núcleo do espermácio migra através da tricogine até o núcleo da oosfera. O zigoto produz por ramificação muitos "carpósporos".

Alternância de gerações

Em quase todos os grupos das Algas conhecemos, além da formação de zigotos, a reprodução assexuada por meio de formação de esporos. Em muitos casos esta formação de esporos encontra-se numa certa relação com a formação de gametângios: a formação dos esporos alterna com a dos órgãos sexuais.

(1) Do grego: *thrix* = pêlo, *gyne* = femea.

Assim, por exemplo, na *Dictyota* representada nas figs. 52 e 180, os zigotos quando germinam, dão origem a uma nova planta de *Dictyota,* mas esta não pode formar novamente oogônios ou anterídios. O que produz são os chamados tetrásporos (fig. 183) que se apresentam sob a forma de protuberâncias da epiderme, no mesmo lugar em que as plantas sexuais formariam anterídios ou oogônios. A planta que parte do zigoto, é diplóide: a divisão de redução só se dá com a formação dos tetrásporos, efetuando-se a meiose durante as duas divisões, das quais resulta a tétrade de esporos.

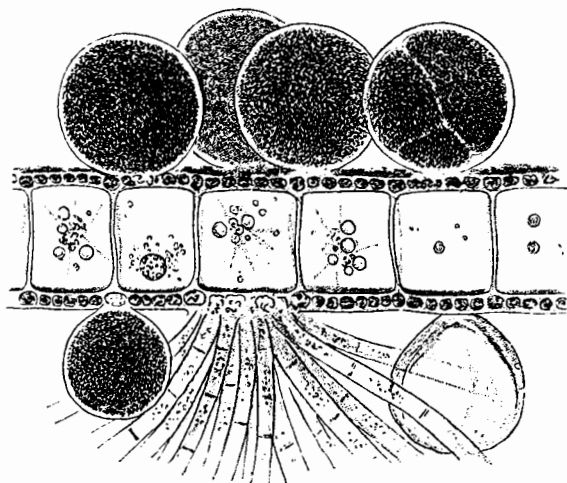



Fig. 183
Dictyota dichotoma, corte transv. do talo; esporófito com tetrásporos. Seg. Thuret, ap. Oltmanns.

Tais tetrásporos são freqüentes não só nas *Phaeophyceas* como também nas *Rhodophyceas,* onde podem ser observados fàcilmente nos *Callithamnion* do nosso litoral (fig. 184). Daí por diante, muitas vêzes, encontramos grupos de 4 esporos, o que pode ser considerado manifestação característica da divisão de redução precedente. Na *Dictyota,* muitas vêzes, as células que dão origem à tétrade (células-mães dos esporos) caem ou se afastam da planta-mãe antes da formação da tétrade; nossa figura mostra só uma tétrade "*in situ*".

Cada um dos tetrásporos tem o número haplóide de cromosomas; germinando, dá nascimento à nova planta, haplóide, masculina ou feminina (porque no caso da *Dictyota,* a separação dos sexos se dá na divisão de redução). São essas plantas haplóides que formam os anterídios e oogônios descritos anteriormente (pág. 189).

A formação de uma geração haplóide, sexual ou *gametofítica* e de outra diplóide, assexual, produtora de esporos ou *esporofítica* é típica. Em todos os casos em que observamos tetrásporos, a alternância de gerações parece ser levada a rigor pela natureza. E' o que se dá também

com o *Ectocarpus,* cuja geração esporofítica não produz tetrásporos, mas, sim, zoósporos assexuados, formados em zoosporângios uniloculares, diferentes dos gametângios pluriloculares.

A fig. 185 representa esquemàticamente a seqüência das gerações na *Dictyota,* seqüência essa que devemos conhecer para compreender a reprodução das plantas superiores. A utilidade da existência de duas

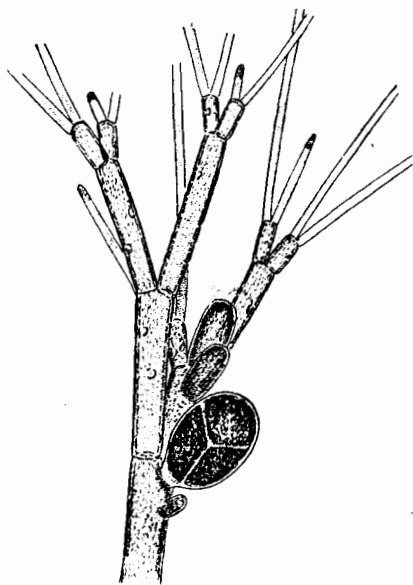



Fig. 184
Callithamnion corymbosum (*Rhodophyceae*), esporófito; ramo com tetrásporos. Seg. Thuret, ap. Oltmanns.

Fig. 185
Esquema mostrando a alternância das gerações em *Dictyota:* G, gametófito (dióico); Z, zigoto; S, esporófito; R!, significa a divisão de redução que fornece os tetrásporos *t*. A fase diplóide, em linhas fortes. Seg. Strasburger, Lehrbuch, modif.

gerações é de difícil interpretação. Talvez tenham razão os que alegam que a produção de oosferas fecundadas é escassa, dependendo do acaso que reúne os gametas dos dois sexos. Um dos valiosos zigotos assim formados produz na geração esporofítica inúmeros tetrásporos, cuja formação não depende de nenhum acaso feliz. Assim, a reprodução da espécie estaria mais garantida.

Segundo o pigmento distinguimos algas verdes, vermelhas e pardas. Verdes são as *Chlorophyceae,* com o grupo das Chlamydomonas (fig. 144), Gonium (fig. 40, 1) e Volvox (fig. 40, 3), com as formas em fio dos Ulothrix, Oedogonium (figs. 160, 41), as Vaucherias (fig. 181) e muitas outras. Verdes também são as *Conjugatae* como Spirogyra (fig. 1) e Zygnema (fig. 168).

Pardas são as *Phaeophyceae,* algas marinhas, como Ectocarpus, (figs. 176, 177), Dictyota (figs. 180, 183), Sargassum (fig. 57) e pardas são também as *Diatomaceae,* unicelulares cuja reprodução vegetativa (fig. 158) e copulação já foram descritas (fig. 167).

Vermelhas são as *Rodophyceae,* às quais pertencem os *Batrachospermum* de água doce, a grande maioria dêles porém sendo plantas marinhas.

D. Reprodução nos fungos

Os fungos devem ser considerados como filogenèticamente derivados de algas, algas essas que reverteram à vida heterotrófica, vivendo como saprófitas ou muitas vêzes parasitando, especialmente outras plantas.

No grupo mais primitivo, dos *Phycomycetes,* o parentesco com as algas ainda é evidente; muitos dêles vivem n'água desenvolvendo esporângios com zoósporos flagelados como *Monoblepharis* e *Saprolegnia*

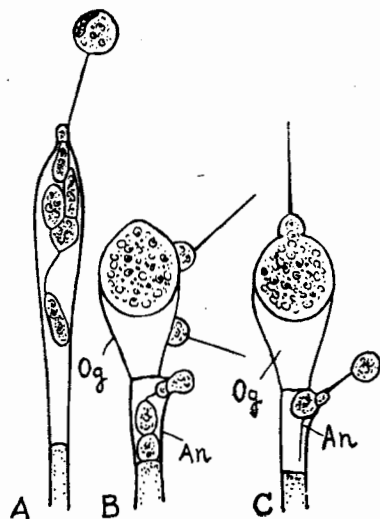



Fig. 186
Monoblepharis macrandra. A, zoosporângio; B, anterídio, saindo os anterozóides, e migrando para a única oosfera no oogônio Og; C, processo de copulação. Seg. Woronin.

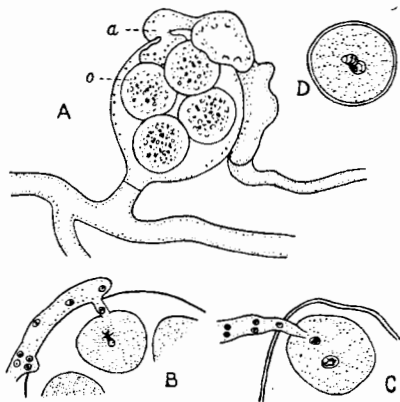



Fig. 187
A, *Saprolegnia mixta,* anterídio *a,* penetrando no oogônio, o oosferas, seg. Klebs. B, C, D, *Achlya flagellata,* mostrando um núcleo masculino entrando numa oosfera e copulando com o núcleo dêste. Seg. Moreau, ap. Strasburger.

(fig. 186). O primeiro ainda forma gametas masculinos móveis flagelados e oogônios com uma só oosfera (fig. 186). O segundo forma oogônios pluriovulados; os anterídios são hifas que se justapõem ao oogônio. Não formam mais gametas mas pequenos tubos que levam um núcleo masculino até bem perto do feminino (fig. 187). Além dêsses casos de oogamia, encontramos a copulação isogâmica já descrita à pág. 174,

(fig. 169) no grupo dos *Zygomycetes*. Êsse grupo é mais adaptado à vida terrestre: zoósporos móveis na água raramente são formados, a reprodução vegetativa sendo feita mediante esporos que são disseminados pelo vento. A fig. 188 mostra os esporângios de Mucor, môfo muito comum: a célula basal progride para o interior do esporângio em forma de "columela". No esporângio maduro a columela intumesce por ação osmótica, exercendo uma pressão sôbre os esporos e através dêles sôbre a membrana do esporângio, que finalmente se rompe.

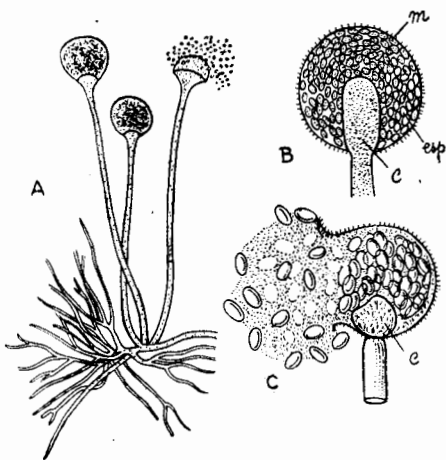



Fig. 188
A, *Rhizopus* (*Mucor*) *nigricans*, micélio com esporângios; B, *Mucor Mucedo*, esporângio intato com columela *c*, esporos *esp* e membrana *m*; C, o mesmo após rompimento da membrana. Seg. Schenk e Brefeld.

Os *fungos superiores* representados pelos dois grandes grupos de *Ascomycetes* e *Basidiomycetes*, são mais adaptados à vida terrestre, perdendo a semelhança com as algas. Nesses grupos a reprodução sexual é gradativamente reduzida.

Em certos *Ascomycetes* distinguimos ainda hifas masculinas e femininas, ambas freqüentemente pluricelulares e as femininas munidas com tricogines (fig. 189 c). Os anterídios entram em contato com as tricogines e através de membranas rompidas os núcleos masculinos migram até uma célula destinada a ser o "ascogônio", quer dizer, um órgão que brota formando muitas hifas que finalmente produzem vários esporos, geralmente 8, no interior de um

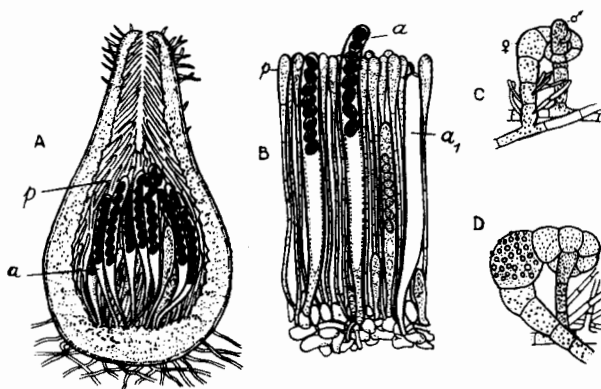



Fig. 189
Ascomycetes, A, Corpo de frutificação de *Podospora fimiseda*, corte longitudinal. *a*, asco com 8 ascosporos, *p*, hifas estéreis (parafises); B, *Ciliaria scutellata*, *a*, ascos maduros, a_1, asco vazio, *p*, parafise; C, D, Ascobolus magnificus, hifa feminina envolvendo a masculina. Seg. Von Tavel, Buller e Dodge.

tubo chamado asco. É de se notar que no momento da fusão *celular* dos órgãos masculinos e femininos, os núcleos sexuais dêstes se pareiam mas não se unem. Continuam pareados sofrendo divisões simultâneas chamadas *conjugadas,* até a formação dos ascos. Só nêles a fusão dos núcleos é consumada. Nos *Basidiomycetes* o pareamento dos núcleos e as divisões conjugadas ocorrem de forma parecida. Nesse grupo não podemos mais distinguir células masculinas e femininas; as células que copulam são de aparência vegetativa, cuja união então dá origem a micélios com células binucleadas e com divisões conjugadas. A fusão dos núcleos ocorre na ocasião da formação dos basídios, como chamamos às células reprodutoras características dos Basidiomycetes. Aí os esporos são formados exteriormente, em geral em número de quatro, como mostra a fig. 190.

Ascomycetes e *Basidiomycetes* podem formar corpos de frutificação relativamente grandes, às vêzes comestíveis, como os das morchelas e trufas do primeiro grupo, e os "champignons" e outros cogumelos de chapéu do segundo. Nesses últimos os basídios podem se reunir para formar uma como película fina (o "*hymenium*") que reveste as lamelas que guarnecem o interior do chapéu, reconhecível na figura. O grande número de esporos cai através do espaço livre, para baixo. As células alongadas (fig. 190 c), "cystidios", evitam o colapso das lamelas, uma contra outra.

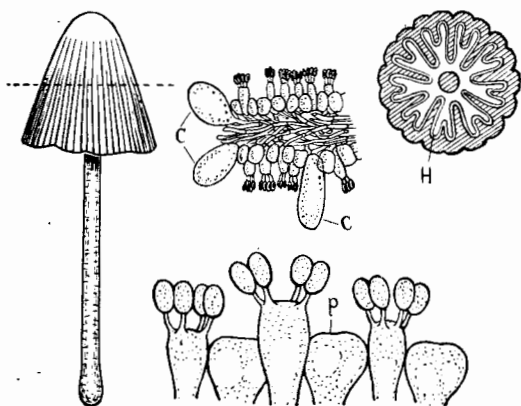



Fig. 190

Basidiomycetes. A esquerda chapéu de um Coprinus, a linha interrompida indica o nível do corte transversal, apresentado à direita; H, himênio. No centro parte de uma lamela com aumento fraco (em cima) e muito aumentado, (embaixo) mostrando os basídios, com 4 basidiosporos cada, entre parafises *p* e cistídios *c*. Seg. Brefeld e Orig.

Basidiomycetes e *Ascomycetes* podem entrar em simbiose com algas, formando os liquens, dos quais já tratamos à página 76 e página 170. Quase todos os liquens são *Ascolichenes*. *Basidiomycetes* entram na simbiose em muito poucas espécies de *Basidiolichenes,* que são todos tropicais. *Cora pavonia* é um Basidiolíquen freqüente em barrancos húmidos do Brasil.

Muitos fungos de tôdas as três classes mencionadas são de importância prática, seja como plantas comestíveis, seja como parasitas provocadoras de doenças, (especialmente em plantas), ou como plantas de utilidade industrial (levedos e *Penicillium,* entre os *Ascomycetes*). Tôda uma ciência, a Micologia, se ocupa dêles.

Para a Genética contemporânea os fungos são interessantes pelo comportamento especial dos núcleos pareados e das divisões conjugadas. Também a distribuição dos sexos é singular. Em certas formas isogaméticas (*Zygomycetes*), foi primeiro constatado que os talos que se unem devem ser de proveniência diferente, existindo dois sexos que só não podem ser chamados de masculino e feminino por ausência de órgãos sexuais distintos, sendo então designados os dois sexos por "plus" e "minus". A tais talos chamamos heterotálicos, ao passo que nos casos onde a copulação se dá entre ramos do mesmo talo há homotalismo.

Muitos *Asco* e *Basidiomycetes* são heterotálicos. Digno de nota é o fato que na heterotalia de *Coprinus* e outros *Basidiomycetes* podemos distinguir até mais do que dois sexos. Assim, os esporos formados no mesmo chapéu (e no mesmo basídio) podem pertencer a quatro grupos sexuais diferentes, os quais copulam dois a dois.

E. Reprodução nas Bryophytas

Sem dúvida, não erramos supondo que a vida vegetal e animal no nosso planêta originou-se na água. Os organismos mais primitivos são adaptados à vida aquática; os flagelos das *Bactérias* e dos *Flagelados* são órgãos locomotores que só servem em meio líquido. Já vimos como as Algas superiores que, geralmente, não têm motilidade própria, podem voltar ao estado de *Flagelados,* especialmente quando formam zoósporos ou gametas. A reprodução sexual freqüentemente depende da motilidade de anterozóides flagelados ou ciliados, que nadam. As primeiras plantas terrestres, sem dúvida derivam de Algas que, aos poucos, ocuparam a terra firme. Para levar uma vida à superfície da terra foram obrigadas a transformar-se, adquirindo proteção contra a evaporação (epiderme, estômatos), munindo-se de rizóides, que são pêlos absorventes destinados a retirar a água do interior do substrato. Sem dúvida, tais adaptações precisaram para se fazer, de épocas geológicas. Passou-se mais tempo ainda até a formação de feixes condutores, o que veio permitir a existência de plantas altas e até de árvores, conhecidas só no fim do *Devoniano,* pouco antes da época carboniana.

O parentesco e a derivação das plantas terrestres de Algas aquáticas evidencia-se pela maneira da organização e da união dos gametas. Os grupos terrestres recentes mais primitivos são as *Bryophytas,* com seus dois grandes grupos, *Hepaticae* e *Musci.* Os gametas masculinos são formados nesses grupos de maneira muito semelhante aos das Algas: em anterídios que só diferem dos das Algas, por uma camada de células estéreis, formando uma epiderme que serve necessàriamente de proteção contra a perda d'água (fig. 191).

A organização interior é a dos gametângios pluriloculares do *Ectocarpus* ou da *Dictyota;* aqui geralmente cada célula ou lóculo contém um anterozóide de forma espiralada; significativos são os 2 flagelos destinados à locomoção n'água. Nos musgos geralmente, encontramos os anterídios reunidos no ápice de certos caules, como o apresentado na

fig. 191 *a*. As fôlhas superiores muitas vêzes formam um cálice caracteristico destinado a colhêr a água de chuva (*c*). A abertura dos anterídios só se dá quando são humidecidos: rompe-se, então, a epiderme, dissolvem-se as membranas das células e os anterozóides nadam. Os borrifos de chuva atiram-nos para os ápices de outras plantas que, em vez de anterídios, contêm os órgãos femininos. Tais plantas femininas estão representadas à esquerda da fig. 192 *a* e em 192 *b*, já fecundadas e apresentando os esporogônios.

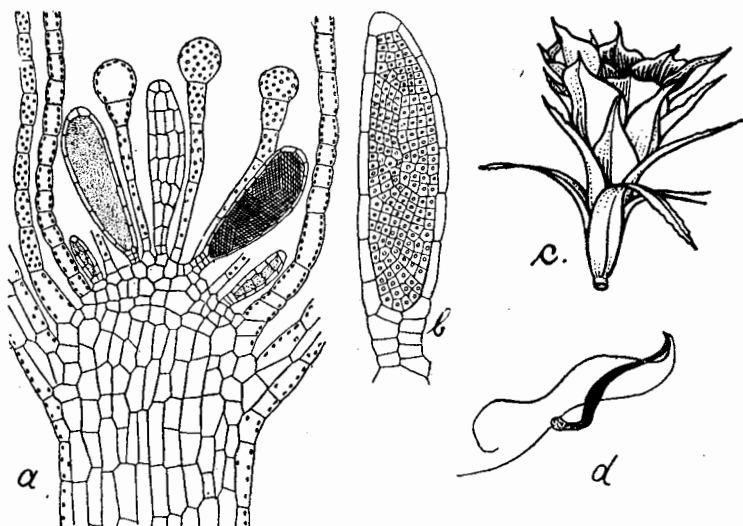



Fig. 191
Anterídios de *Bryophytas: a, Funaria hygrometrica*, corte long. de um ápice masculino, com anterídios e paráfises; *b*, anterídio isolado de *Funaria; c*, Invólucro de um ápice masc. de *Polytrichum*, as fôlhas apicais formando um bacinete em redor dos anterídios; *d*, anterozóide de *Marchantia*. Seg. Smith Schimper e Ikeno.

Os esporogônios, nestes musgos, são formados no ápice de plantinhas femininas (1), que produzem os seus órgãos sexuais em lugar análogo àquele em que as hastes masculinas trazem os anterídios. Os gametângios femininos, de agora em diante, têm o nome de *arquegônios* (2). Os arquegônios têm a forma de uma garrafa, formada por uma camada de células estéreis que lhe servem de epiderme (fig. 193). Esta contém uma só oosfera (*o*) na parte ventral. As outras células do interior são – como parece – oosferas transformadas. Assim, observamos, em cima da oosfera, uma célula-irmã que se destina agora a outras funções; encontra-se na base ou parte ventral do canal que percorre o colo do arquegônio e chama-se a *célula ventral do canal* (*cv*). As células superiores do mesmo canal, as *células colares do canal* (*c*) também podem ser consideradas como oosferas transformadas.

(1) Raramente os dois sexos se encontram juntos na mesma planta e na mesma haste.
(2) *Archegonio*. do grego: *arche* = comêço; *gonos* = fruto.

A célula ventral e as células colares do canal transformam-se, no arquegônio maduro, numa mucilagem. Neste estado, quando humidecido, o colo se abre por *hidratação* das células apicais da epiderme, libertando a mucilagem. Atribuímos a esta as peculiaridades químicas responsáveis pela atração dos anterozóides.

A homologia dos arquegônios com os oogônios das Algas não é tão óbvia como a dos anterídios nos dois grupos. Mas, provàvelmente, não erramos vendo no arquegônio um oogônio cujas células exteriores

Fig. 192
Frutificação dos musgos: *a*, ***Mnium affine***, hastes feminina e masculina; *b*, ***Tortula*** *subulata*, haste feminina. Seg. Schimper ap. Wettstein.

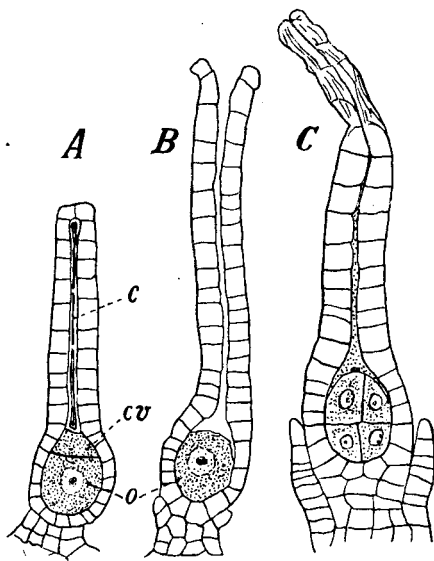



Fig. 193
Arquegônio de ***Marchantia polymorpha***: *A*, jovem; *B*, maduro e aberto; *C*, fecundado, com o zigoto já dividido em 4 células; o, oosfera; *c*, células colares; *cv*, célula ventral do canal. Seg. Strasburger.

se transformaram numa epiderme, permanecendo apenas *uma* oosfera em função. Parede epidérmica, colo e mecanismo de abertura já são adaptações à vida terrestre.

A transformação mais incisiva deu-se com o desenvolvimento do *zigoto* que, depois de fecundado, continua incluído no arquegônio (fig. 193 *C*). A geração esporofítica que devemos esperar em homologia com a *Dictyota* não se desenvolve fora da planta-mãe gametofítica; o zigoto torna-se um embrião e êste uma plantinha que parasita tôda a sua vida a geração gametofítica. Êste esporófita-parasita só serve para formar os *esporos* cujas *tétrades* se vêem no interior da cápsula de musgo representada esquemàticamente na fig. 194.

Nas Bryophytas observamos, assim, desigualdade das duas gerações. O gametófito representa a verdadeira planta, assimiladora e autótrofa, que, no último período do seu desenvolvimento forma os anterídios e arquegônios. O esporófito só existe em forma de cápsula ou

de esporogônio, como se fôsse só o fruto da planta gametofítica. Difere, porém, pelo duplo número de cromosomas, contidos em todos os seus núcleos, até a formação das tétrades com a divisão de redução. Os esporos são haplóides; ao germinar, iniciam nova fase gametofítica ou haplóide.

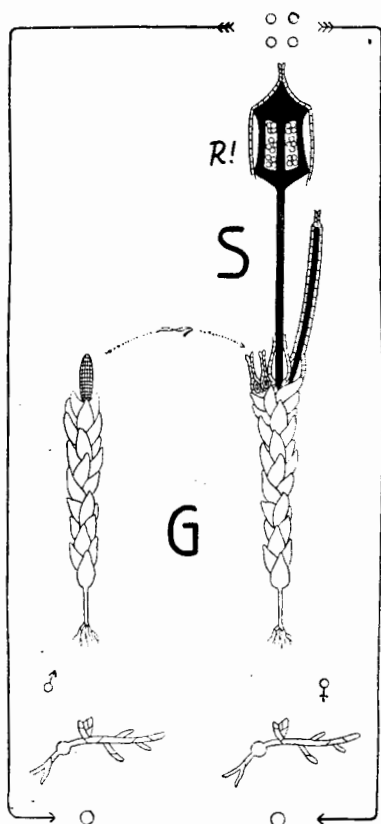



Fig. 194
Esquema da alternância das gerações num musgo dióico: esporo ⟶ protonema (2) ⟶ gametófito G. O esporófito S é desenhado em prêto (dois arquegônios foram fecundados). A caliptra que cobre a cápsula deriva da parede do arquegônio, sendo haplóide (G); R!, indica o lugar da divisão de redução. Seg. Strasburger, Lehrbuch.

Os dois grupos que compõem as *Bryophyta* são as classes das *Hepaticae* e dos *Musci* ou das *Muscineae*.

As primeiras, como já mencionamos (pág. 92) muitas vêzes ainda não mostram diferenciação nítida do talo em caule e fôlhas (figs. 58, 59 e 60). Onde existem fôlhas, como nas *Jungermanniales folhosas,* as fôlhas geralmente são desprovidas de uma nervura. Freqüentemente as *Hepáticas* são fôrmas muito higrofíticas, crescendo na sombra de florestas húmidas, perto de riachos, etc.; os caules ou talos são deitados, as cápsulas são efêmeras.

Nas *Hépaticas* os arquegônios e os anterídios podem ser distribuídos bem simplesmente no talo, como mostra a *Androcryphia* da fig. 60 (pág. 93); mas muitas vêzes encontram-se, como nos musgos, na ponta de pequenas hastes folhosas; ou em certas partes elevadas do talo, como em *Marchantia.*

O grupo das *Marchantiales* cujos propágulos e estômatos foram apresentados nas figs. 23 e 163, forma arquegônios e anterídios em pequenos chapéus originados por transformação de lobos do talo (1). Os chapéus masculinos trazem os anterídios no lado superior. Os arquegônios encontram-se no lado inferior dos chapéus femininos, onde, fecundados, formam pequenas cápsulas (fig. 195). Serve isto, como parece, para facilitar o transporte dos anterozóides para os arquegônios, transporte êsse que depende, como nos musgos, das gôtas de chuva que os espalham.

Os *musgos,* ao contrário, são sempre folhosos, parecendo mais adaptados a condições menos húmidas; os caules possuem um cilindro central já reconhecível e também uma nervura mediana em cada fôlha. As suas cápsulas são resistentes, em geral pedunculadas por uma "seta" rígida, e possuem um mecanismo especial de abertura, o peristômio, cujas franjas são higroscópicas, fechando a cápsula em dias chuvosos. Os esporos ao germinar dão um pequeno fio ramificado parecido com uma alga terrestre, o *protonema,* o qual por brotos laterais origina os gametofitos.

---

(1) Os talos das Marchantiales provàvelmente são involuídos, derivando de fôrmas folhosas como testemunham as pequenas fôlhas rudimentares que possuem ainda no lado ventral.

(2) Do grego *proto* = primeiro; *nema* = fio; o primeiro estado após a germinação.

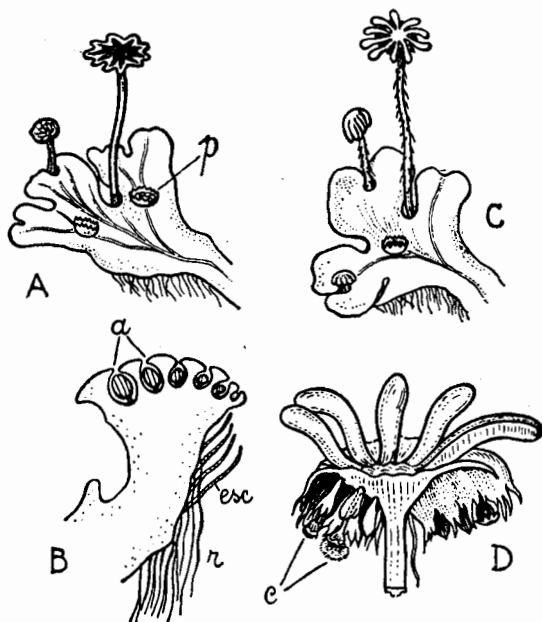



Fig. 195
Marchantia polymorpha: A, talo com chapéu masculino e cálices de propágulos (*p*); B, chapéu masculino novo, corte longit. aumentado; *a*,. anterídios; *esc*, escamas dorsais; *r*, rizóides; C, talo com chapéu feminino; D, chapéu feminino, cortado longitudinalmente; *c*, cápsula. Seg. Schenck e Bischof.

F. Reprodução nas Pteridophytas

A dependência dos vegetais, da água para a fecundação, foi uma herança das *Algas*, que, por muito tempo, os impediu de formar plantas altas. Em verdade será difícil imaginar árvores em cujas copas se desenvolvessem anterídios com anterozóides que deveriam nadar para alcançar os arquegônios.

Uma vez ocupada a terra firme, as plantas tiveram que formar troncos cada vez mais altos, devido à luta pela vida. Nessa luta, o que influi mais é a luz solar. As plantas mais altas fazem sombra às menores. A competição que observamos nas florestas relaciona-se, em primeiro lugar, com a luz. Na sombra, a assimilação e, por conseguinte, o crescimento, são menores; as plantas fracas são dominadas, suprimidas e eliminadas.

O problema que as plantas terrestres tiveram que enfrentar na sua evolução foi o seguinte: como se podem formar plantas grandes sem renunciar à sexualidade? A solução foi a transformação da sexualidade, tornando-se a união dos gametas independente de água, pelo uso de outros métodos de transporte, como vento, insetos, etc. Essa transfor-

mação se deu em vários passos, dos quais o primeiro pode ser observado nas *Filicineas.*

Ao passo que nas *Bryophytas* o gametófito representa a parte mais importante na vida vegetativa, êste é reduzido nas *Pteridophytas* a uma planta quase microscópica, rudimentar, o chamado *protalo.*

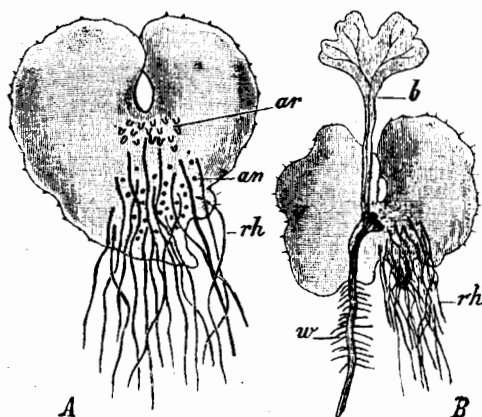



Fig. 196
Protalos da Filicínea *Dryopteris Filix mas: ar,* arquegônios; *an,* anterídios; *rh,* rizóides; em *B* um arquegônio foi fecundado; vê-se a plantinha formada (*b*); *w,* raiz do esporófito. Seg. Schenck.

A fig. 196 representa um dêsses protalos de *Polypodiacea* que nascem em grande quantidade nos lugares húmidos das florestas; nas estufas encontramo-los especialmente no xaxim onde cultivamos as *Orchideas.* São talos delicados, sem diferenciação, mostrando só alguns rizóides do lado inferior e formando, perto da incisão que marca o ápice, alguns arquegônios, ao passo que os anterídios se encontram mais na periferia. Semeando esporos de Filicíneas em xaxim ou em terra húmida, podemos cultivar fàcilmente tais protalos que, nas primeiras semanas, só formam anterídios.

A estrutura dos anterídios e arquegônios se vê na fig. 197; são menores do que nas *Bryophytas,* mas a homologia é evidente. Nota-se, porém, que os anterozóides são pluriflagelados e os arquegônios possuem, além da célula ventral, só uma célula colar do canal. A abertura se dá por humidecimento e hidratação, como nas *Bryophytas;* os órgãos sexuais encontram-se sòmente do lado inferior do protalo onde, entre os rizóides, a água capilar se mantém em maior abundância.

Fig. 197
Anterídio e arquegônio abertos de Feto: *e,* oosfera. Seg. Miehe.

O embrião formado no interior do arquegônio cresce durante algum tempo, alimentando-se à custa do protalo. Logo, porém, adquire independência, formando uma raiz própria e desta vez uma *raiz verdadeira,* portadora de pêlos absorventes. A parte apical forma, em vez da cápsula das *Bryophytas,* um sistema ramificado, munido de fôlhas, caules e pontos vegetativos. Forma-se, assim, uma *planta nova, diplóide,* planta essa que conhecemos em formas diversíssimas, pertencentes ao grande grupo das *Pteridophytas,* como as avencas, samambaias, samambaiaçu, cavalinhas, *selaginellas,* etc.

Fig. 198
Parte de fôlha com sôro, da *Filicinea Dryopteris Filix mas,* em corte transv.: *a,* fôlha; *i,* indúsio (o véu que protege os esporângios). Seg. Kny.

Êstes esporófitos são autótrofos, levam uma vida vegetativa, às vêzes longa, antes de formarem os esporângios. Êstes são formados nas samambaias, por exemplo, do lado inferior das fôlhas, onde constituem os conhecidos *soros* (aglomerações de esporângios) representados na fig. 198. No interior de cada esporângio vemos novamente as tétrades de esporos, durante cuja formação se dá a divisão de redução. Ao germinarem, os esporos haplóides dão o protalo haplóide, a geração gametofítica (fig. 199).

Fig. 199
Esquema da alternância das gerações numa *Filicinea.* O gametófito G, consiste de esporos e protalo (achuriçado); o esporófito S, da « planta ». A divisão de redução R!, processa-se no interior dos esporângios. Seg. Strasburger, Lehrbuch., modif.

Fazendo uma comparação com os musgos, vemos que o ponto de gravidade do desenvolvimento se translocou do gametófito para o esporófito. Como se processou a transformação do esporófito das *Bryophytas* para o das *Pteridophytas* não se sabe, faltando formas intermediárias. Nesse sentido, a botânica se refere geralmente aos esporògônios de um certo grupo de *Hepáticas,* as *Anthocerotales,* cujos esporogônios são longos, verdes e cuja assimilação lhes garante um certo autotrofismo. Uma ramificação destas poderia conduzir as formas mais comparáveis com as *Pteridophytas.* Parece que tais formas existiam no Devoniano, as *Psilophytales,* hoje extintas.

A classe das *Pteridophytas* abrange vários grupos que diferem muito, princi-

palmente pela forma das fôlhas. As *Filicineas* têm fôlhas grandes, muito divididas, que conhecemos nas samambaias. As *Lycopodineas* têm fôlhas muito menores. Os esporângios são formados pelas fôlhas do lado inferior nas *Filicineas* e do lado superior nas *Lycopodineas* (fig. 201, pág. 205).

Nem tôdas as fôlhas trazem esporângios, podendo algumas servir só para a assimilação, chamando-se, então, *trofofilos* (1), ao passo que as com esporângios se chamam *esporofilos*. Exemplos de diferenciação

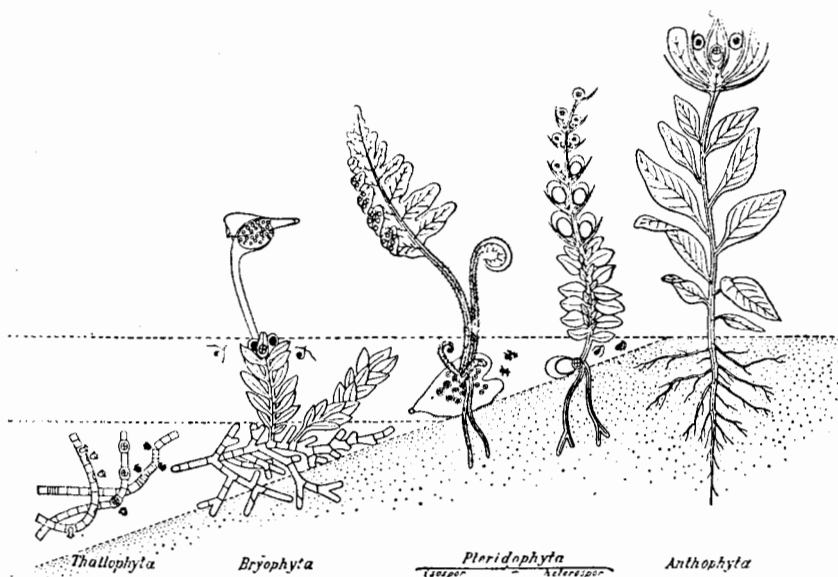



Fig. 200

Esquema da evolução das plantas aquáticas (*Algae*) até as superiores, terrestres (*Anthophyta*) (2). As duas linhas pontuadas indicam o nível permanente ou temporário da água. Seg. Wettstein.

entre esporofilos e trofofilos são freqüentes. Limitamo-nos aqui às *Selaginellas* e aos *Lycopodios* que agrupam os esporofilos em certas espigas terminais, como mostra a fig. 201. Os esporofilos com os esporângios são os órgãos que encontramos transformados em órgãos sexuais na flor das plantas superiores. Uma espiga de *Selaginella* já poderia merecer o nome de flor.

As *Pteridophytas,* com seus protalos, ainda dependem, para a fecundação, da água atmosférica, onde os anterozóides nadam para seu lugar de destino; mas, neste grupo já se esboça a última transformação no sentido do modo de reprodução das plantas superiores, transformação essa ilustrada pelo esquema da fig. 200.

(1) *Trophophyllo,* do grego: *trephein* = alimentar.
(2) *Anthophyta,* do grego: *anthos* = flor, plantas com flores.

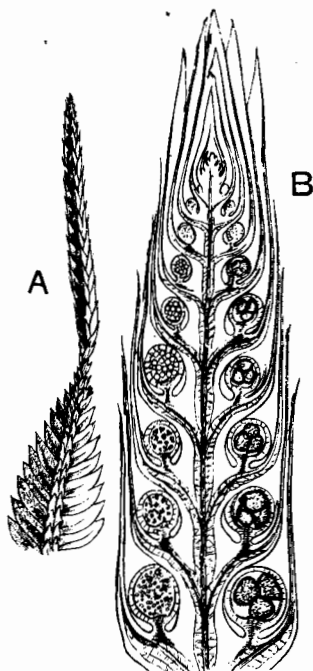



Fig. 201
Selaginella inaequalifolia. Ramo com ponta fértil (A) e corte longitudinal desta (B), mostrando mega e microsporângios. Seg. Sachs.

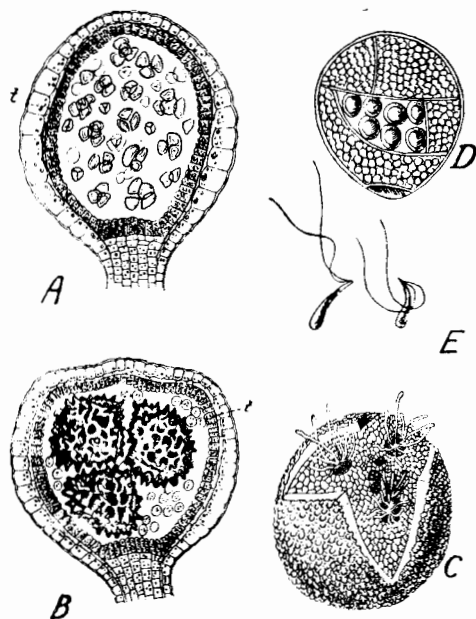



Fig. 202
Selaginella: A, Microsporângio; *B,* Megasporângio; vêem-se 3 megásporos rugosos da tétrade desenvolvida, sendo visíveis outras tétrades rudimentares; *C,* Megásporo germinado («megaprotalo»); *D,* Micrósporo germinado (microprotalo); *E,* Anterozóides; *t, tapetum* (camada nutritiva no interior do esporângio). Seg. Sachs, Bruchmann e Belajeff.

Isosporia e heterosporia

Nos casos considerados até agora os esporos das *Pteridophytas* produzem protalos que formam anterídios e arquegônios. Nesse caso, existe a possibilidade e mesmo a probabilidade dos arquegônios serem fecundados pelos anterozóides do mesmo protalo. Tal *"autofecundação"* parece que a natureza quer evitar. Qualquer que seja o papel da copulação sexual, sempre observamos novamente dispositivos que tendem para assegurar a copulação de gametas de proveniência diferente. Isto é garantido em organismos *dióicos* (1), já observados por nós nas *Marchantias,* ao passo que a *Androcryphia* (fig. 60, pág. 93) representa uma *Hepática* monóica.

Na transformação das *Cryptogamas* em plantas superiores, a natureza seguiu o caminho da separação dos sexos, empregando a dioecia dos protalos: parte dos esporos produz protalos femininos só com arquegônios, ao passo que outros esporos só produzem protalos com anterídios.

---

(1) A palavra *dioecia* provém do grego: *di* = duplo; *oicos* = casa; significando que os dois sexos são alojados em casas, isto é, em plantas diferentes; geralmente (mas nem sempre) a separação dos sexos dos gametófitos se dá por ocasião da divisão de redução.

Tal separação de gametófitos masculinos e femininos foi acompanhada por um processo análogo à transição de isogamia para heterogamia, descrita na pág. 187. Diferenciaram-se morfològicamente os esporos que produzem gametófitos masculinos, distinguindo-se dos que produzem protalos femininos; êstes últimos tornaram-se maiores, recebendo substâncias de reserva, ao passo que os primeiros tornaram-se ou permaneceram pequenos, sendo produzidos em grande quantidade e sendo distribuídos fàcilmente pelo vento.

Tal caso é encontrado no gênero *Selaginella* (figs. 201 e 202), onde um corte longitudinal através de uma espiga mostra duas formas de esporângios: os *macro* ou *megasporângios* (1) formam só uma tétrade de esporos maduros que são muito grandes, os *macro* ou *megásporos,* ao passo que os *microsporângios* contêm inúmeras tétrades de esporos pequenos, ou *micrósporos.*

Germinando, os *megásporos* dão protalos femininos, com arquegônios, ao passo que os *micrósporos* só formam, no interior da própria membrana, protalos bem reduzidos com dois pequenos anterídios que, mais tarde, deixarão escapar os anterozóides. Também os protalos maiores do sexo feminino têm a marca de involução: a germinação do megásporo é incompleta, ficando a maior parte incluída na membrana. Os rizóides que saem parecem mais uma reminiscência de outros tempos do que órgãos de verdadeira utilidade. Só os arquegônios funcionam normalmente: fecundada, a oosfera forma o zigoto e o embrião torna-se uma nova *Selaginella,* aproveitando, primeiro, as reservas do megásporo. Os micrósporos e seus microprotalos são organismos bastante efêmeros; depois da saída dos anterozóides perecem logo; os megaprotalos, depois de fecundados os arquegônios, têm o papel de alimentar os embriões até que a nova *Selaginella* possa alimentar-se pelos próprios órgãos assimiladores e absorventes.

A diferenciação dos esporos, em femininos, que são pesados e em masculinos, que são pequenos e leves, compreende-se pela necessidade da difusão dêstes últimos, da mesma maneira como interpretamos a diferenciação dos isogametas em anterozóides e oosferas, com a diferença que, desta vez, é o ar que se encarrega do transporte dos micrósporos.

Se denominamos os micrósporos e megásporos de masculinos e femininos, isto evidentemente não é exato, pois os esporos não têm sexo. Sexo só tem a geração gametofítica, mas nesse caso o sexo do futuro protalo já se reflete nos dois grupos de esporos. *Os megásporos são esporos com predestinação feminina, os micrósporos são esporos com predestinação masculina.*

As *Pteridophyta* compõem-se de várias classes das quais já foram mencionadas e caracterizadas as mais importantes, isto é, as *Filicineae* e as *Lycopodineae.* As *Filicineae* geralmente têm fôlhas grandes com muitos esporângios do lado inferior; as formas recentes são tôdas isosporadas com exceção do pequeno grupo das *Hydropteridae.*

---

(1) *Macro,* no grego significa pròpriamente comprido, embora seja empregado muitas vêzes no sentido de grande, por exemplo em « macroscópico ». A palavra exata grega é *mega;* a literatura moderna prefere, por isso, empregar o têrmo megásporos.

As *Lycopodineae* têm as fôlhas pequenas, os esporofilos muitas vêzes reunidos em estróbilos e cada esporofilo com um só esporângio do lado superior. Neste grupo encontramos isosporia, por exemplo no gênero *Lycopodium,* e heterosporia nas *Selaginellas* recentes e nas *Lepidodendrales* fósseis cujos troncos são constituintes importantes do carvão de pedra do Carbonífero. Mencionamos ainda os *Equisetineae,* hoje em dia representados por um gênero, *Equisetum* (Cavalinha), pouco freqüente nos brejos do Brasil. São isósporos, mas os seus parentes paleozóicos, as *Calamitaceae* e *Sphenophyllales* também apresentavam heterosporia.

G. Transição para as Phanerogamas

Permanência dos megásporos nos megasporângios da planta-mãe

Embora os megásporos da *Selaginella* germinem fora da planta-mãe, sua independência não é completa, vivendo êles de reservas com as quais foram dotados por esta. Dêsse modo, não foi difícil o último passo no sentido da evolução, que representa um progresso considerável e que consiste na *germinação do megásporo no próprio megásporângio, portanto na planta-mãe.*

Êsse passo foi dado sistemàticamente na época carboniana por plantas que têm, vegetativamente, a aparência de *Pteridophytas.* Hoje sabemos que não só muitas delas eram *heterosporadas,* como também que aí chegou a heterosporia à sua forma mais adiantada. Tal transformação se deu pelo menos em dois grupos das *Pteridophytas:* entre as plantas de parentesco mais próximo com as *Selaginellas,* no grupo das *Lycopodineas,* encontramos, já no Carboniano superior, as *Lepidospermas.* Mais importantes para a Sistemática são, porém, as *Pteridospermas,* também carbonianas, que derivam das *Filicineas.* O nome *Pteridospermas* significa "*Pteridophytas com sementes*". A formação de sementes constitui o ponto de reparo que distingue as plantas mais elevadas na escala vegetal, isto é, as *Phanerogamas* (1). As *Pteridospermas,* logo, são *Phanerogamas* e, como tais, a sistemática atribui-lhes o primeiro lugar no grupo das *Gymnospermas;* as *Pteridospermas* constituem uma ligação contínua dêste grupo com as *Pteridophytas.*

Pteridophyta

.
.
.
.

Gymnospermae	Pteridospermae	fósseis
	Cycadinae	recentes
	Benettitinae	fósseis
	Cordaitinae	fósseis
	Ginkgoinae ..	(fósseis, com uma espécie recente, Ginkgo biloba)
	Coniferae	recentes
	Gnetinae	recentes

---

(1) *Phanerogamae, Cryptogamae,* do grego: *phaneros* = visível; *cryptos* = escondido; *gamein* = casar, copular; conforme a maior ou menor visibilidade dos órgãos sexuais.

As *Gymnospermas* já são consideradas como componentes do grupo das *Phanerogamas;* na verdade, formam um grupo transitório e até muito heterogêneo, cujas sete classes têm tôdas caracteres primitivos que as ligam às *Cryptogamas.* Três dêsses grupos existem só no estado fóssil. Um, o das *Ginkgoinae,* está quase extinto. O estudo interessantíssimo dêsses grupos se faz detalhadamente na Sistemática vegetal. Aqui, limitamo-nos aos traços mais essenciais.

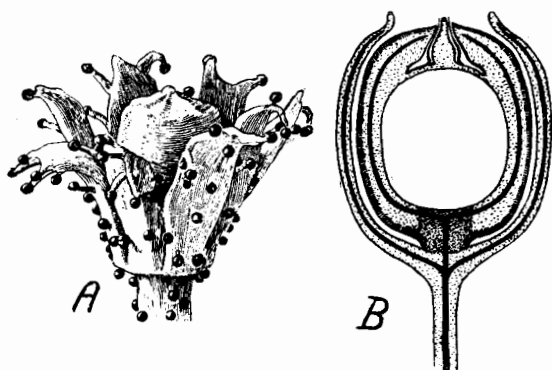



Fig. 203
Lyginodendron oldhamium (*Pteridospermae*): A, vista geral do megasporângio protegido por um invólucro laciniado e munido de glândulas; *B,* Corte longitudinal. Seg. Oliver, ap. Zimmermann

A fig. 203 mostra um macrosporângio de uma *Pteridosperma,* o *Lyginodendron.* Os métodos de desgaste da Paleontologia moderna permitiram esclarecer a estrutura microscópica do mesmo. Sabemos que os megasporângios foram munidos de um invólucro, o integumento, que encontramos, de agora em diante, em tôdas as plantas superiores. No ápice encontra-se uma formação especial, geralmente uma protuberância, circundada por uma cavidade, protuberância essa que é típica em muitas *Gymnospermas* e que serve de pouso para os micrósporos trazidos pelo vento. A parte central deixada em branco no corte longitudinal foi ocupada pelo único megásporo em função. Os três outros megásporos da tétrade, sem dúvida foram formados mas regrediram.

O processo da fecundação que, nas *Pteridospermae,* não pode ser observado, presta-se ao estudo no grupo recente das *Cycadinae,* onde os órgãos reprodutores mostram muita semelhança. A fig. 204 mostra um esporofilo com os megasporângios, logo um "megasporofilo", de uma *Cycas,* freqüentemente cultivada nos jardins. Ao lado vemos o corte longitudinal do megasporângio com organização idêntica ao da fig. 203.

Ao passo que na *Selaginella* os micrósporos, depositados pelo vento perto de um megásporo, deixam escapar os anterozóides num ambiente onde dependem de água atmosférica em estado líquido, para vencer nadando a última parte de seu caminho, a fecundação é facilitada nas *Cycadinae* pela planta-mãe que secreta líquidos que enchem as cavidades próximas do ápice do megasporângio; êsses líquidos secretados

fixam os micrósporos trazidos pelo vento. Com a evaporação, os esporos são retraídos para as cavidades, como na "*câmara polínica*" visível no ápice do megasporângio da fig. 203.

Antes de ver como germinam os micrósporos, examinemos o próprio megásporo que, durante êsse tempo, germina no interior do megasporângio. Todo o desenvolvimento do gametófito feminino se dá no interior da membrana que, aliás, pode ser delicada, nunca saindo o megásporo do esporângio. No estado maduro, o megásporo contêm um protalo com vários arquegônios no ápice, dois dos quais são visíveis na fig. 205. Quando os arquegônios estão maduros (1), geralmente decompõe-se o tecido mole que separa a câmara polínica do megásporo. A fig. 205 mostra, assim, uma câmara polínica grande com três micrósporos germinados. Seus protalos são pequenos e têm a forma de tubos que se fixam no tecido do megasporângio. No ápice do tubo apresentam, além de um núcleo vegetativo, um anterídio com dois anterozóides pluriflagelados. Na figura vêem-se mais dois tubos já esvaziados e à direita observam-se dois anterozóides que saíram de um dêles e nadam nos restos do líquido (vide também a fig. 209, pág. 214).

Fig. 204
Cycas revoluta; megasporófilo com 6 megasporângios e um megasporângio em corte long. Seg. Warming e Oliver.

Nas *Cycadineas,* a última parte da união dos gametas processa-se ainda da mesma maneira que nas *Pteridophytas:* os anterozóides nadam para os arquegônios. O líquido, porém, não é mais água de chuva e o processo de fecundação se faz na copa da planta. A formação e o desprendimento de anterozóides que nadam, é apenas uma reminiscência de épocas passadas, sem utilidade atual.

Os tubos formados pelos micrósporos, em vez de parar na câmara polínica, poderiam continuar seu crescimento até a oosfera, deixando entrar aqui os núcleos masculinos sem muni-los de flagelos e transformá-los, assim, em anterozóides. Êste último passo de importância foi dado, provàvelmente, também já no Permeano, durante a formação do grupo das *Coníferas* (2). A fig. 206 mostra dois tubos polínicos atravessando o tecido do macrosporângio e penetrando nos arquegônios de um Pinheiro.

Assim, cessa, no grupo das *Coníferas,* a dependência de água em estado líquido para se dar a fecundação. O nadar dos anterozóides é

(1) Isso se dá em geral muito tarde, já depois da polinização e quando os grãos polínicos formaram tubos.

(2) *Coniferae* do latim: *conus* = estróbilo; *ferre* = trazer.

substituído pelo crescer dos tubos polínicos. Êstes dirigem-se para as oosferas, não por quimiotatismo, mas, sim, por quimiotropismo (vide págs. 153 e 161).

A fecundação por meio de tubos polínicos é característica para as *Coníferas, Gnetineas* e *Angiospermas.* Estas plantas chamam-se, por isso, *Siphonogamae* (1).

Com a supressão da motilidade dos anterozóides, a formação de protalos femininos com seus arquegônios perdeu a última razão de ser. Se encontramos arquegônios ainda nas *Coníferas,* êles devem ser interpretados como testemunhas do passado.

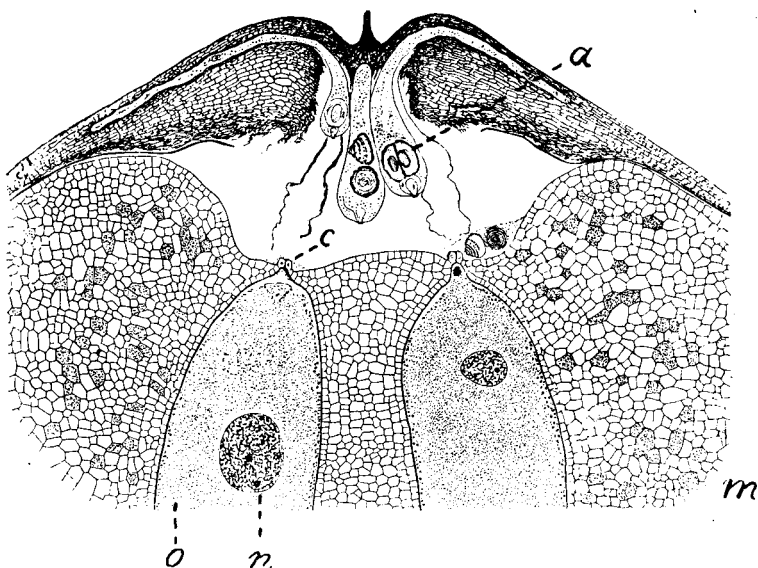



Fig. 205
Ápice do megasporângio da *Cycadale Dioon edule.* Vêem-se dois arquegônios no macroprotalo *m*, com oosferas muito grandes, *o*; núcleos, *n*; colo, *c*; os microprotalos em forma de tubos com anterídios, *a*. Seg. Chamberlain.

Para a compreensão da Botânica êsses arquegônios são, entretanto, de valor inestimável, projetando luz sôbre a natureza dessas formações que até agora denominamos megásporos. Na série das nossas considerações fica hoje bem claro que são homólogos aos megásporos das *Selaginellas.* Mas, antigamente (antes das pesquisas clássicas de Hofmeister) os botânicos não sabiam isso. Como conheciam formações semelhantes nos ovários das *Phanerogamas,* que mais tarde dão origem ao embrião da semente, chamaram *saco embrionário* ao megásporo. Da mesma maneira, chamavam *óvulo* ao megasporângio. Na verdade, não erraram quando identificaram os sacos embrionários das *Gymnospermas* e *Angiospermas.*

---

(1) *Siphonogamae,* do grego: *sipho* = tubo; *gamein* = casar.

Todavia, nas *Angiospermas* os sacos embrionários são muito mais simplificados. Não encontramos protalos nem arquegônios. O saco embrionário ou o megásporo provém, ainda, como nas *Gymnospermas*, de uma tétrade de células, das quais três involuem. Como em todos os grupos antecedentes, a formação da tétrade está ligada à divisão de redução. O saco *embrionário* é, portanto, haplóide. O núcleo que contém sofre três divisões sucessivas, formando, assim, oito núcleos haplóides que, a princípio, permanecem livres num citoplasma comum, quatro na parte superior e quatro na parte basal da grande célula. Separam-se, então, um núcleo de ambos os grupos, migrando para o centro do saco embrionário formando os chamados *núcleos polares*. Na parte apical ficam três núcleos que, geralmente, são envolvidos por membranas, formando-se, portanto, três células, das quais uma será a oosfera e duas sem função determinada, as chamadas *sinérgides* (1). As três células do lado oposto, também sem função determinada, chamam-se *antípodas* (2).

Fig. 206
Megasporângio da *Conifera Picea excelsa* corte long., esquema; *e*, megásporo ou saco embrionário; *a*, arquegônio; *h*, colo do arquegônio; *nc*, megasporângio ou nucelo; *t*, tubo polínico; *p*, grão polínico; *i*, integumento. Seg. Lotsy.

Oosfera, sinérgidas, núcleos polares e antípodas é tudo o que resta do protalo das *Gymnospermas*. Se as antípodas e as sinérgides podem ser interpretadas como células vegetativas do protalo, como arquegônios rudimentares ou oosferas fora de função, não o sabemos.

Compreendemos, dêsse modo, a fig. 207, que nos mostra o corte longitudinal através do óvulo de uma *Liliacea*. O megasporângio é rodeado por um integumento. Êste, no ápice tem um poro que conduz até o próprio megasporângio, a *micrópila* (3). Muitas vêzes, existe outro integumento, o externo; às vêzes, como no caso apresentado, êste se restringe ao lado exterior, sendo o interior ocupado pelo pedúnculo ou *"funículo"* do óvulo curvado. Perto da micrópila vêem-se a oosfera e as duas sinérgides; no centro, os dois núcleos polares e na base as três antípodas.

Já dissemos que o megásporo se chama saco embrionário e o megasporângio com os integumentos e com o funículo se denomina óvulo. O megasporângio pròpriamente dito é o *nucelo;* a base, no ponto em que está ligada ao funículo, é a *"chalaza"*.

A fig. 208 mostra, no desenho clássico do botânico francês, Guignard, o momento da fecundação do saco embrionário de uma açucena. No ápice, o tubo polínico deixou entrar seus dois núcleos masculinos, dos

(1) ***Synérgides***, do grego: *synergos* = colaborador, ajudante.
(2) ***Antípodas***, do grego: *antipous* = que tem os pés em direção oposta (aos nossos).
(3) ***Micropyle***, do grego: *pyle* = porta; passagem pequena, estreita.

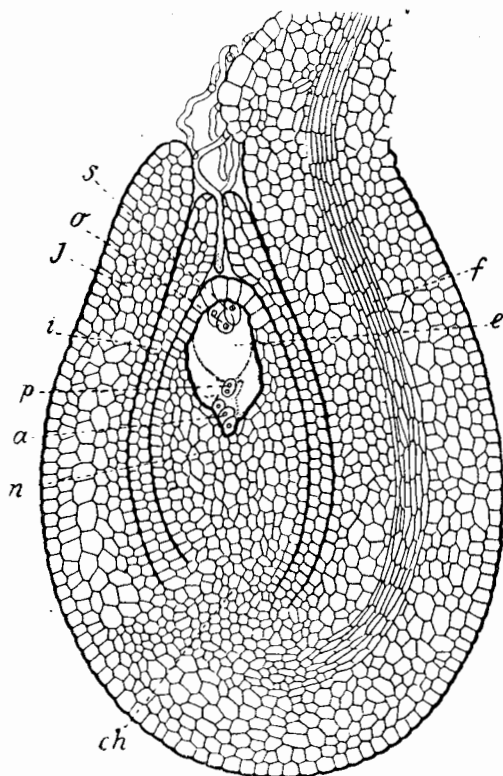



Fig. 207
Óvulo (anátropo) de Angiosperma, esquematizado; *f*, funículo; *ch*, chalaza; *n*, nucelo; *J* e *i*, integumentos exterior e interior; *e*, saco embrionário; *o*, oosfera; *s*, sinérgidas; *p*, núcleos polares; *a*, antípodas. Vêem-se alguns tubos polínicos em procura da oosfera. Modif. Seg. Dodel-Port.

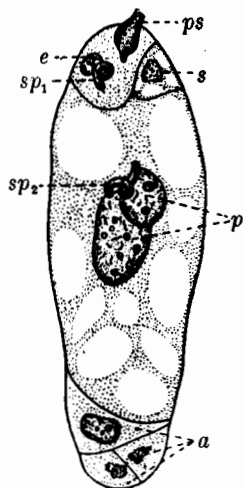



Fig. 208
Fecundação do saco embrionário de *Lilium Martagon*: *e*, núcleo da oosfera, em contato com o 1.º núcleo gamético (sp_1) saindo do tubo polínico (*ps*); *s* sinérgide; *p*, os dois núcleos polares, fundindo-se com o 2.º núcleo gamético masculino (sp_2); *a*, antípodas. Seg. Guignard.

quais um está se unindo com o núcleo da oosfera. O segundo move-se para os dois núcleos polares e aqui se dá o caso singular em que todos os três núcleos se fundem, formando um núcleo triplóide, núcleo êsse que mais tarde vai formar as células do endosperma secundário (vide pág. 213).

O saco embrionário com 8 núcleos representa o caso típico; conhecemos, porém, casos especiais em que algumas cariocineses, desde a formação da célula-mãe da tétrade até a formação do saco embrionário, são suprimidas. Assim, no caso do lírio, já não se forma mais uma tétrade de células, das quais uma só se torna o saco embrionário. A célula-mãe da tétrade transforma-se diretamente num único saco embrionário; as duas primeiras divisões perfazem a redução da cromatina, seguindo-se só uma cariocinese normal que fornece os oito núcleos definitivos. A citologia indica outros casos em que a formação da oosfera seria mais simplificada, casos êsses não perfeitamente esclarecidos. A involução da fase gametofítica seria completa se a célula-mãe da tétrade sofresse só as duas divisões de redução, fornecendo quatro células, das quais uma só se tornaria oosfera. Isso seria idêntico ao comportamento dos

animais superiores, nos quais, durante a formação da célula-ôvo nascem só quatro células haplóides, das quais três são eliminadas e reduzidas, formando os corpúsculos polares.

Tubos polínicos

No sexo masculino o microprotalo formado pelo micrósporo de *Selaginella* já tem a aparência do grão polínico das *Phanerogamas.* Germina, porém, interiormente, formando um protalo com anterídios que deixam escapar anterozóides. Êstes procuram os arquegônios, nadando n'água de chuva.

Nas *Gymnospermas,* o micróspòro ou grão polínico deve ser transportado pelo vento para perto de um megasporângio da mesma espécie. Germina, formando no tecido do megasporângio um protalo em forma de tubo. Neste tubo diferencia-se ainda, nos grupos das *Cycadineas* e *Ginkgoineas,* um anterídio com dois anterozóides pluriflagelados como mostra a fig. 209 (vide também fig. 205). Os anterozóides são libertados e fazem um pequeno percurso, nadando na câmara polínica.

Nas *Gymnospermas* superiores, — *Coniferae* e *Gnetineae* — e nas *Angiospermas,* o tubo formado cresce até alcançar o saco embrionário. Anterozóides já não se diferenciam. A célula geradora dá origem a duas células masculinas ou espermáticas, muitas vêzes só constituídas pelos núcleos (fig. 210). Quando o tubo polínico entra no saco embrionário a ponta se dissolve, os dois núcleos espermáticos entram nêle, fundindo-se um com o núcleo da oosfera, ao passo que o outro vai unir-se com os dois núcleos polares para formar o endosperma secundário do qual trataremos à pág. 228. Com êste último passo, completa-se a transformação dos microprotalos em tubos polínicos.

Resumo da involução do gametófito nas plantas superiores

Nas páginas anteriores acompanhamos a redução gradativa dos gametófitos nas plantas superiores.

Nas *Bryophytas* o gametófito ainda forma a geração mais importante do ciclo vegetal.

Nas *Pteridophytas* o gametófito se reduz ao protalo que ainda mantém uma vida independente, se bem que o esporófito seja muito maior e também autótrofo.

Nas *Pteridophytas heterosporadas,* como as *Selaginellas,* os protalos são dióicos e os esporos que produzem os gametófitos dos diferentes sexos, também diferem: os megásporos, produtores do gametófito feminino são maiores, sendo formado no megasporângio, geralmente, só uma tétrade de megásporos em função. Mega e micrósporos germinam fora da planta-mãe; sua vida depende, porém, das substâncias de reserva que receberam desta e a germinação se torna incompleta.

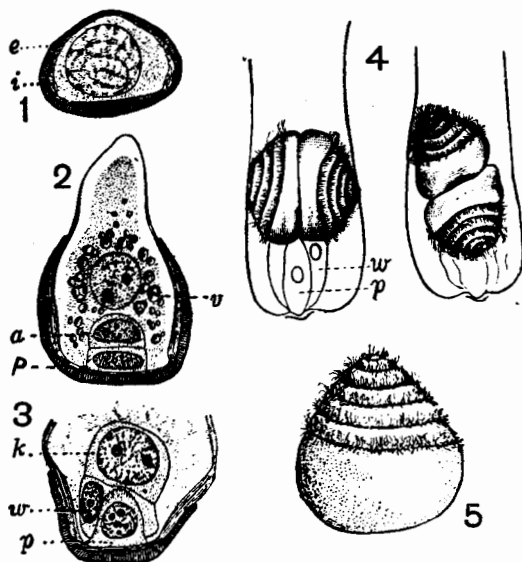



Fig. 209

Microprotalos de *Cycadales* (*Dioon e Zamia*): 1, Micrósporo em repouso, vendo-se o grande núcleo, a membrana exterior (Exina, *e*) e a interior (Intina, *i*); 2 e 3, germinação dêste, diferenciando-se um núcleo vegetativo *v*, uma célula protalar *p*, a célula geradora *a*, que se divide em uma célula basal *w* e uma célula espermatógena *k*; 4, pontas de tubos; a célula espermatógena produziu dois anterozóides ciliados; 5, anterozóide. Seg. Chamberlain e Webber, ap. Strasburger, Lehrbuch.

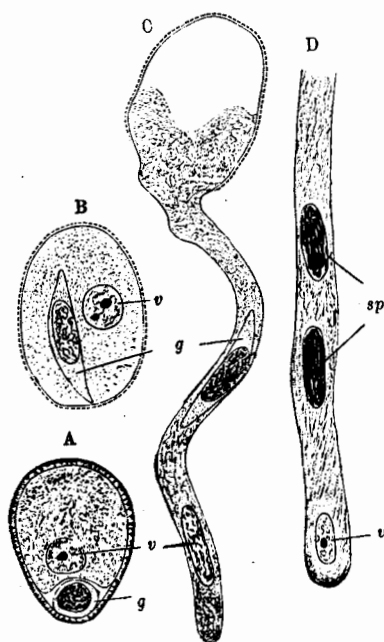



Fig. 210

Grão polínico de *Lilium Martagon:* A, em repouso; B, início da germinação; C, tubo polínico bem desenvolvido; D, extremo anterior do tubo; *v*, núcleo da célula vegetativa; *g*, célula geradora; *sp*, as duas células espermáticas formadas a partir da cél. geradora. Seg. Strasburger, Lehrbuch.

Nas *Gymnospermas* os megásporos permanecem no megasporângio; da única tétrade, desenvolve-se só um megásporo que concresce com o megasporângio, tornando-se o saco embrionário. Nas *Gymnospermas*, o saco embrionário forma ainda um protalo completo, com muitas células vegetativas e vários arquegônios.

Nas *Angiospermas*, o saco embrionário forma um protalo bem rudimentar, contendo oito núcleos dos quais um se torna o núcleo da oosfera.

No sexo masculino, a transformação mais importante é a do microprotalo em tubo polínico, apresentada nas figs. 209 e 210, à pág. 214, e a substituição dos anterozóides pelos núcleos espermáticos observada desde as *Coníferas*.

Flor, fruto e semente

As páginas precedentes são imprescindíveis para compreendermos o que significam as expressões flor, fruto e semente. Já no caso da *Selaginella* (fig. 201, pág. 205) falamos em flor; com razão, pois uma espiga de *Selaginella* com megasporofilos e microsporofilos possui tôdas as partes essenciais de uma flor. Também na planta *phanerogama* a flor é um brôto, constituído por caule e fôlhas. Estames e ovários nada mais são do que micro e macrosporofilos, que são derivados de fôlhas, como já vimos nas páginas anteriores. Olhemos agora para as partes que compõem a flor.

Fig. 211
Megasporofilos ou fôlhas carpelares: A, da *Cycadale Ceratozamia robusta;* B, da *Conifera Pinus silvestris* (ambas com 2 óvulos nus); C, da *Angiosperma Delphinium Consolida* (Esporinha). Vista total do folículo depois de aberto e corte transv. Seg. Warming, Kerner e Beck v. Mannagetta.

Megasporofilos. — Na fig. 204 mostramos um megasporofilo de uma *Cycas;* nesta planta o megasporofilo revela perfeitamente o caráter de uma fôlha. Em outras *Cycadales* a parte vegetativa do megasporofilo é mais rudimentar, transformando-se, muitas vêzes, numa escama que protege os óvulos (megasporângios), que geralmente se encontram na sua base em número de dois. Dois óvulos na base dos megasporofilos, dispostos geralmente em estróbilos são muito freqüentes, para não dizer característicos, também nas *Coníferas* (fig. 211). Acrescentamos, porém, a fig. 212, que apresenta o estróbilo do Cipreste, em que os óvulos se desenvolvem em grande número na base de cada megasporofilo.

No Pinheiro do Paraná, ao contrário, os megasporofilos trazem só um óvulo pendente (fig. 213).

Fig. 212
Cipreste (*Cupressus sp.*): *a*, um ramo com estróbilo maduro; *b*, estróbilo novo, cada fôlha carpelar com muitos óvulos retos; *c*, corte longit. do mesmo; *a*, flores masculinas. Seg. Warming e Kerner.

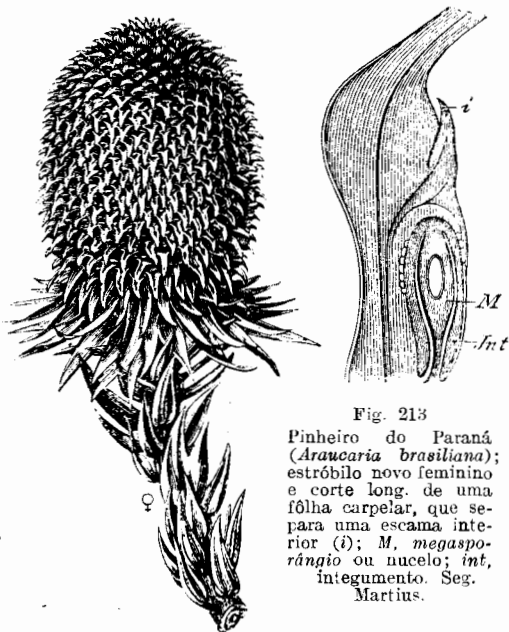



Fig. 213
Pinheiro do Paraná (*Araucaria brasiliana*); estróbilo novo feminino e corte long. de uma fôlha carpelar, que separa uma escama interior (*i*); *M*, *megasporângio* ou nucelo; *int*, integumento. Seg. Martius.

Ao abrir os estróbilos, encontramos os óvulos "nus", o que deu ao grupo das *Gymnospermas* o seu nome (1).

Nas *Angiospermas,* os óvulos se encontram no interior de uma formação que até agora não havíamos encontrado, o *ovário,* que aloja os óvulos dentro de um como que vaso, de onde o nome *Angiospermas* (2). Essa cavidade se forma pelo enrolamento do megasporofilo, cujos bordos concrescem, como mostra a fig. 211, C. Assim, formam-se os ovários, sendo o ovário mais simples o *"folículo"* da nossa figura, formado por *um* megasporofilo. Em vez da palavra megasporofilo emprega-se nas *Angiospermas* o têrmo *fôlha carpelar.* Muitas vêzes, várias fôlhas carpelares unem-se, formando um ovário composto ou pluricarpelado. Em tais casos podem formar-se vários tipos de ovários; a fig. 214 apresenta alguns exemplos típicos.

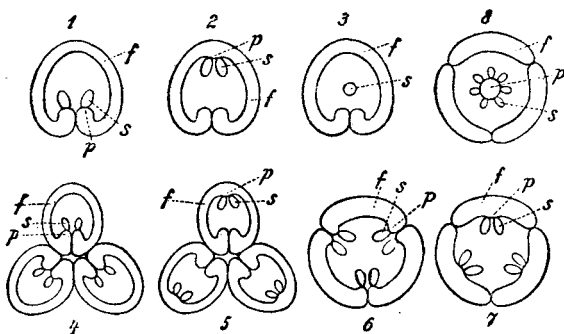



Fig. 214

Ovários em corte transv.: *1, 2, 3,* monocarpelares, monoloculares, com placentações: parietal-marginal (*1*); parietal-laminar (*2*); e central axial (*3*); *4, 5,* ovários tricarpelares, triloculares, com placentações: marginal-central (*4*) e parietal-laminar (*5*); *6, 7,* ovários tricarpelares, monoloculares, com placentações: parietal-marginal (*6*) e parietal-laminar (*7*); *8,* o mesmo com placentação central-axial. Em tôdas as figuras: *f,* fôlha carpelar (carpelo); *p,* placenta; *s,* óvulo. Seg. Wettstein.

Fig. 215

Corte long. da flor feminina nua de um salgueiro (*Salix alba*). Na axila duma bráctea (*b*), o ovário com estilete, 2 estigmas bipartidos e uma glândula de néctar (*d*). Seg. Engler-Prantl.

A parte apical de uma fôlha carpelar transforma-se numa ponta, cuja extremidade forma um tecido especializado, glandular, para pouso e germinação dos micrósporos. Êsse tecido é o *estigma,* que pode ser séssil ou separado do ovário por um prolongamento da ponta, que, então, forma o *estilete.* Estigma, estilete e o ovário com os óvulos, formam em conjunto o *pistilo* (3) (fig. 215).

Estigmas e estiletes podem existir em número igual ao das fôlhas carpelares ou em número menor, por concrescência. Da mesma maneira, podem existir num ovário tantas lojas, quantas fôlhas carpelares, ou uma só loja, quando as margens destas não entram até o centro (às vêzes, existem mais lojas do que fôlhas, por formação posterior de *septos falsos*).

---

(1) *Gymnospermae,* do grego: *gymnos* = nu; *sperma* = semente.
(2) *Angiospermae,* do *grego:* angion = receptáculo, urna.
(3) *Pistillo* — pela sua semelhança ao *pistillum,* mais correto, *pistillus* (latim), quer dizer mão de gral, de pilão.

Os óvulos, em número de um a vários, encontram-se nos bordos ou na superfície da lâmina das fôlhas carpelares. Podem ser fixados na periferia do ovário ou no centro, onde as fôlhas carpelares se ligam.

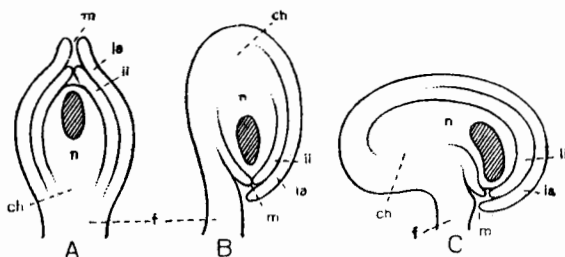



Fig. 216
Tipos de óvulos; A, reto; B, anátropo; C, campilótropo; *ch*, chalaza; *f*, funículo; *n*, nucelo; *ii*, integumento interno; *ia*, integumento externo; *m*, micrópila. Seg. Karsten.

O ponto de inserção dos óvulos chama-se *placenta;* a sistemática fala, em *placentação parietal,* que pode ser *parietal-marginal,* ou *parietal-laminar.* Os bordos das fôlhas carpelares podem unir-se no centro, formando septos que dividem o ovário em tantas lojas quantas fôlhas carpelares. Podem concrescer, nesse caso, formando uma *coluna* ou um eixo central. A placentação então pode ser *central* (mas isso não é obrigatório, vide fig. 214). Às vêzes, os septos se desfazem parcial ou totalmente. O eixo central pode permanecer só na base do ovário e neste caso traz os óvulos numa placentação *"central axial".*

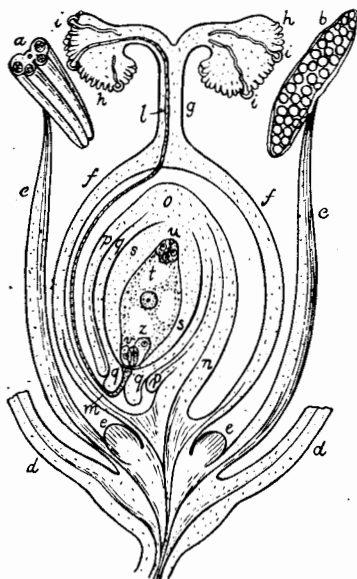



Fig. 217
Esquema da fertilização da flor de *Angiosperma:* *a*, *b*, anteras, corte transv. e long.; *c*, filete; *e*, nectários; *d*, perigônio; *f*, parede do ovário; *g*, estilete; *h*, estigma com *i*, grãos de pólen germinando; *k*, *l*, *m*, tubo polínico; *n*, funículo; *o*, chalaza; *p* e *q*, integumentos exterior e interior; *s*, nucelo; *t*, saco embrionário com; *u*, antípodas; *v*, signérgidas; *z*, oosfera. Seg. Sachs.

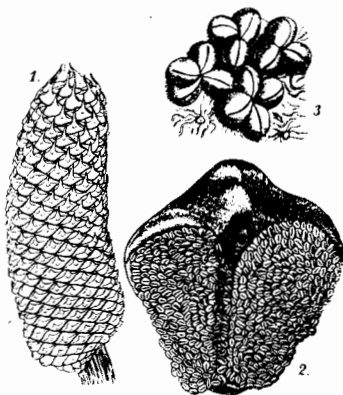



Fig. 218
Macrozamia (*Cycadales*): *1*, estróbilo masculino; *2*, microsporofilo visto de baixo; *3*, alguns grupos de microsporângios ou sacos polínicos de *2*, aumentados. Seg. Wettstein.

Os óvulos podem ter o funículo reto (*óvulos retos*) ou curvado (*óvulos anátropos*) (1). Também o próprio nucelo pode ser curvado (*óvulo campilótropo*) (2) (fig. 216).

A fig. 217 apresenta, num esquema clássico de Sachs, um corte longitudinal através de um ovário, deixando ver o caminho do tubo polínico.

O conjunto das fôlhas carpelares chama-se *gineceu* (3).

Microsporofilos. — O *androceu* (3) é formado pelo conjunto dos *estames*. Os estames nada mais são do que microsporofilos, que nas *Cycadales* (fig. 218) ainda possuem o tipo dos das *Pteridophytas*. Nas *Coníferas* os microsporângios reduzem o seu número, existindo geralmente só dois microsporângios do lado inferior do esporofilo (fig. 219). No *Pinheiro do Paraná* (*Araucaria brasiliana*) porém, existem vários dêsses sacos polínicos (fig. 220).

Fig. 219
Estróbilo e microsporofilos de *Coníferas*; A, estróbil em secção long.; B, C, um microsporofilo visto de baixo e em seção long., de Pinus; D, flor masc. de *Abies alba*; *a*, anteras; *b*, escamas protetoras; M, microsporângios; Mi, micrósporos; P, pedúnculo ou filete; E, eixo. Seg Holman and Robbins e Sachs.

Tôda a flor masculina tem a tendência de se tornar mais delgada e não encontramos mais estróbilos tão compactos como nas *Cycadales*. Assim, no Pinheiro do Paraná, como no Abeto da fig. 219, as flores masculinas formam espigas pendentes, que são sacudidas pelo vento, sendo assim levados mais fàcilmente pelo ar os micrósporos ou grãos polínicos das tecas abertas. Explica-se dêsse modo a tendência de colocar os sacos polínicos na extremidade do estame que assim aparece munido de um pecíolo, o *"filête"*. Divide-se, então, o *estame*, em *filête* e *"anteras"*, como denominamos o conjunto dos microsporângios (4).

Em princípio, temos assim o tipo dos estames aperfeiçoados das *Angiospermas* (fig. 221). A identidade dêstes com os microsporofilos das *Gymnospermas* e das *Pteridophytas* ainda é bem manifesta. Como nes-

---

(1) *Anátropo*, do grego: *anatrepein* = fazer meia volta.
(2) *Campylotropo*, do grego: *campylos* = curvado.
(3) *Gynoeceum* e *androeceum*, do grego: *gyne* = mulher; *aner* = homem; *oicos* = casa.
(4) *Anthera* do grego: *antherós* = florescendo; as anteras representando parte integrante da flor.

tes, se desenvolvem no interior das tecas os grãos polínicos, em tétrades, acompanhados por um *tapetum,* tecido que alimenta os grãos polínicos (vide pág. 205, fig. 202).

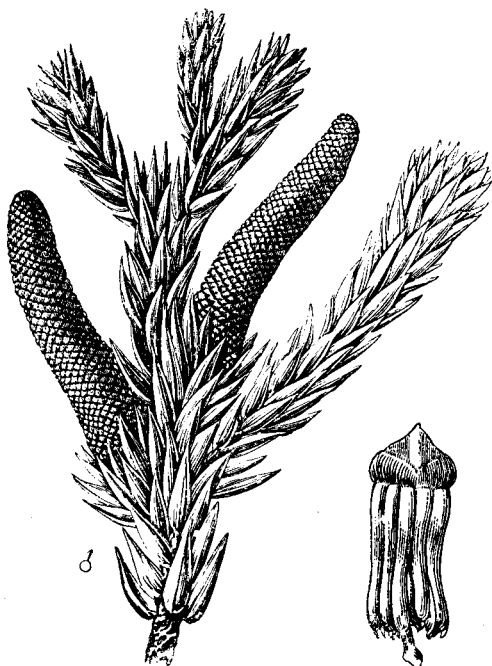



Fig. 220
Pinheiro do Paraná (*Araucaria brasiliana*): flor masc. e microsporofilo com vários microsporângios pendentes. Seg. Martius.

Flor. — Nas *Gymnospermas,* os microsporofilos e os macrosporofilos formam espigas ou flores (1) de sexos diferentes, unissexuadas ou *"diclinas"* (2). Nas *Angiospermas* geralmente, prevalece o tipo *monóclino:* ambos os sexos são reunidos na mesma flor, ocupando o gineceu a extremidade do eixo floral, ao passo que as anteras ocupam o lugar mais baixo. Raramente, a flor é nua (fig. 215); pelo menos, existe um cálice de proteção, formado por algumas fôlhas especializadas.

Ao passo que nas *Gymnospermas* ainda é o vento que carrega os grãos polínicos, nas *Angiospermas* prepara-se uma transformação importante. São animais e especialmente insetos que transportam os micrósporos.

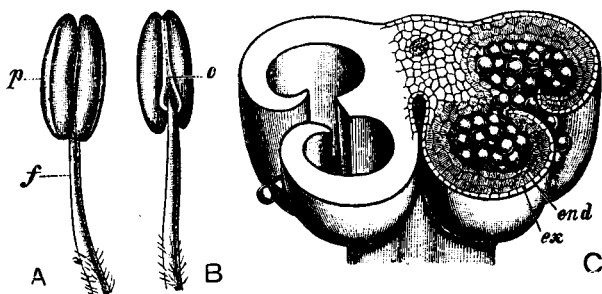



Fig. 221
Estames: A e B, vistas totais, pela frente e por trás; *f,* filete; *p,* antera; *c,* «conetivo» (a parte que liga as metades da antera); C, Corte transv. de uma antera; *end,* endotécio, parte interior da parede; *ex,* exotécio, parte exterior da parede. Seg. Schimper e Engler-Prantl.

(1) Na Sistemática ainda se discute para saber se essas espigas são flores ou se cada fôlha carpelar corresponde a uma flor, sendo, então, o estróbilo uma inflorescência.

(2) *Diclino,* do grego: *dis* = dois, *kline* = leito; usado para *flores* de sexo diferente. A flor que reune ambos os sexos é *monoclina.* Se a mesma *planta* possui flores masculinas e femininas, chama-se *monóica;* se os sexos são distribuídos em *pés diferentes,* masculinos e femininos, como é a regra no mamoeiro, falamos em plantas dióicas.

Evidentemente, a dependência do transporte pelo vento, chamada "*anemofilia*" (1), tem suas desvantagens; os grãos polínicos são indistintamente depositados em qualquer lugar e as plantas *anemófilas* têm que produzir uma abundância enorme de pólen, o que se exprime no número muito maior de flores masculinas ou pelo menos de estames.

O transporte por animais, especialmente insetos, no caso da "*entomofilia*" (2) limita êsse desperdício: é preciso sòmente que os insetos sejam atraídos pelas flores, que visitam uma após outra. A sistemática das plantas superiores nos demonstra um sem número de aparelhamentos nas diversas espécies, destinados a êsse fim. O motivo mais importante para a visita de insetos consiste, naturalmente, no alimento que podem encontrar nas flores; nos casos primitivos eram, sem dúvida, os próprios grãos de pólen que constituíam seu objetivo e, ainda hoje, conhecemos muitas flores com abundância de pólen que só por isso são freqüentadas pelos insetos. Na maioria dos casos forma-se, entretanto, néctar ou mel, quer no fundo da flor, quer em nectários especializados em forma de escamas ou glândulas.

Muitas flores, por suas particularidades florais (esporas compridas, tubo corolar estreito, etc.), excluem a maioria dos animais, conservando seu néctar só para poucas espécies de borboletas com trombas adequadas, beija-flores, etc. Tais animais encontram, nessas flores, a mesa sempre posta, motivo por que procuram, dentro de suas possibilidades, em certas épocas, só determinadas flores. Neste caso, o transporte do pólen para o estigma de flores da mesma espécie está garantido (veja figs. 225, 258).

Para chamar a atenção dos insetos, a flor exala certo aroma. Além disso, aparece uma nova formação que é a *corola* vistosa. As *pétalas* que compõem a corola são uma transformação (3) ou das fôlhas do cálice ou de uma parte das anteras. Desabrocham só no momento da maturação, murchando logo depois da polinização terminada; servem, assim, de sinal aos insetos, na época em que a flor está madura e pronta para a fecundação.

Prefloração. O desabrochamento da corola é muito rápido, estando as pétalas já preparadas anteriormente. Sua *posição prefloral* pode constituir um critério para classificação sistemática. Quando as pétalas se tocam pelos bordos falamos em prefloração *valvar*. Muitas vêzes se cobrem parcialmente (prefloração *imbricada*). A prefloração imbricada pode tornar-se *espiralada* se as peças se cobrem sempre do mesmo lado, para a direita ou para a esquerda.

A fig. 222 mostra um corte longitudinal de uma flor completa de *Magnólia;* vemos, de baixo para cima, as *sépalas* (do cálice), as *pétalas* (da corola), as *anteras* e diversos *ovários* unicarpelados no ápice do eixo

---

(1) *Anemophilia,* do grego: *anemos* = vento.

(2) *Entomophilia,* do grego: *entomon* = inseto (cujo corpo parece secionado). Nos climas quentes papel semelhante cabe a pássaros, especialmente beija-flores. Fala-se então em *ornithophilia,* do grego *ornis* genitivo: *ornithos* = ave.

(3) Tôdas essas transformações tratadas nas páginas precedentes são chamadas — desde Goethe — *metamorfose. Metamorphose,* do *grego: metamorphosis* = mudança de forma.

floral. Êste é um tipo primitivo de flor, que evidencia que a flor é um brôto. As partes que possui são dispostas em espiral, também um caráter primitivo que só se encontra em poucos grupos. Tais flores são chamadas *acíclicas,* ao passo que na maioria das flores as fôlhas que as compõem são dispostas em verticilos ou ciclos. As flores *"cíclicas"* geralmente não prolongam nem desenvolvem seu eixo. O pedúnculo que traz a flor termina no interior desta, formando o fundo da flor ou *"receptáculo",* que ainda pode ser convexo, plano ou côncavo. Os verticilos florais aparecem, então, inseridos no mesmo plano (vide fig. 223) e o gineceu ocupa o lugar do eixo floral.

Fig. 222
Flor de Magnólia (*M. stellata*) em corte long. Seg. Strasburger, Lehrbuch.

Os botânicos costumam representar o plano de organização de uma flor por *"diagramas"* que nada mais são do que uma projeção, num mesmo plano, de todos os elementos florais. Sendo a flor uma formação geralmente lateral, representamos, em cima, o eixo principal, embaixo, a bráctea em cuja axila fica a flor. Disso resulta a orientação das partes próprias da flor. De fora para dentro, temos, no exemplo representado pela fig. 223, dois verticilos trímeros de peças florais que seriam, no caso mais freqüente, as sépalas (do cálice) e as pétalas (da corola). Na

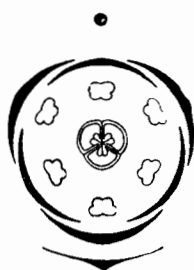



Fig. 223
Flor e diagrama de uma *Liliacea,* (*Tulipa*).
Seg. Baillon e Eichler.

Liliacea representada não se distinguem, porém, umas das outras, tendo tôdas caráter de pétalas, sendo, então, chamadas *"tépalas"* ou, em conjunto, *"perigônio"* ou perianto (1). Como é regra, os verticilos alter-

(1) *Perigônio* e *perianto,* do grego: *peri* = ao redor, *gonos* = cria, no sentido de órgão reprodutor; *anthos* = flor.

nam entre si, fato êsse que também é válido para os dois verticilos de estames e para o único verticilo de fôlhas carpelares, localizado mais interiormente. A trimeria da flor é típica para as *Monocotyledoneas,* ao passo que nas *Dicotyledoneas* prevalece a pentameria.

O fato de conter a flor os dois sexos juntos, traz consigo a possibilidade de se dar a fecundação pelo pólen da mesma flor. Êste caso, a *"autogamia",* é bastante raro e, como parece, não é desejado pela natureza. Assim encontramos vários mecanismos e dispositivos que dificultam ou impossibilitam a autogamia. Há flores em que o pólen não pode germinar no estigma da flor que o produziu (*auto-esterilidade*). Muitas vêzes, pela disposição dos órgãos florais, os insetos são obrigados a tocar primeiro no estigma onde depositam o pólen que trazem consigo, antes de tocar nos estames da mesma flor, de onde tiram o pólen que vão levar para outras flores. Tais casos, onde por causas mecânicas, o pólen fica separado do estigma da mesma flor, denominam-se *hercogamia* (1) e podem ser fàcilmente demonstrados no caso da *Íris* (fig. 239) e das *Orchideas* (fig. 246). Mais freqüente é o caso da *"protandria"* ou da *"protogynia"* em que o *androceu* desabrocha e deixa sair o pólen ou antes, ou depois que o estigma esteja maduro e desabrochado.

As diferenças na formação das flores são muito grandes, em relação ao número de pétalas, sépalas, anteras, etc., que as compõem e ainda no que diz respeito à posição, concrescência eventual e estrutura das partes florais. O estudo dessas questões faz parte integrante da sistemática das *Angiospermas.* Aqui só mencionamos algumas transformações que parecem indicar a direção da evolução da flor primitiva para a mais adiantada.

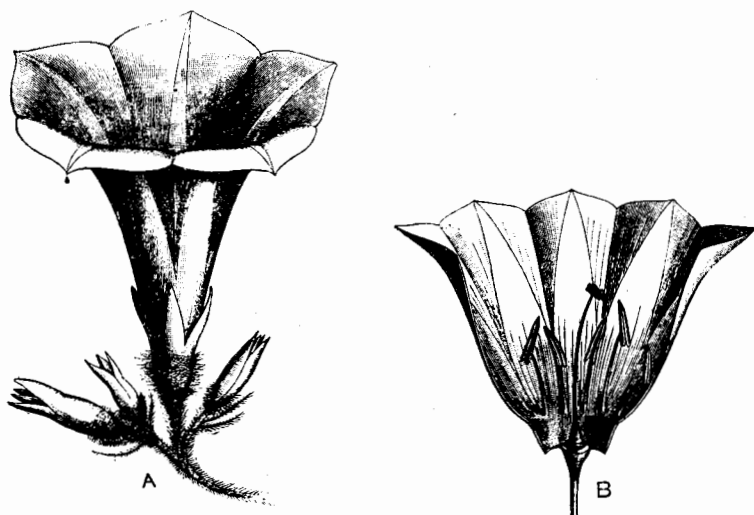



Fig. 224
Flor de «campânula»: A, *Pharbitis hispida* e B, *Ipomoea glabra* (aberta longitudinalmente). Seg. Peter em Engler e Prantl.

---

(1) *Hercogamia,* do grego: *hercos* = cêrca.

Assim observamos a tendência da união das pétalas que concrescem, formando tubos ou funis, como no caso das nossas "Campânulas", representadas na fig. 224. Procuramos a explicação dêsse fato na necessidade de proteção do néctar que se forma no fundo da flor, — nas Campânulas por exemplo, num disco visível, sob o ovário. O acesso para o mel não se dá mais do lado, entre as pétalas, mas só de cima, favorecendo insetos voadores com trombas compridas, ou beija-

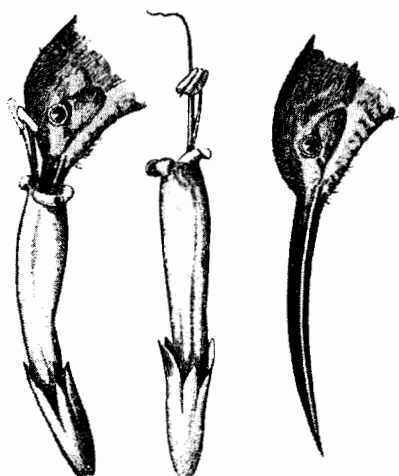



Fig. 225
Polinização da *Acanthacea Sanchezia nobilis* por um beija-flor. Seg. Porsch, ap. Strasburger, Lehrbuch.

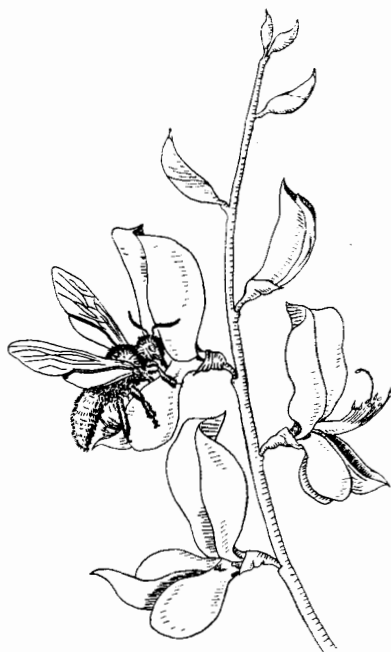



Fig. 226
Polinização das flores dorsiventrais da *Papilionatas Spartium junceum* por uma abelha. Seg. Kerner.

flores (fig. 225). Flores com as pétalas mais ou menos unidas chamam-se *simpétalas* ou *gamopétalas,* ao passo que as flores com pétalas separadas são as *dialipétalas* (1). Outra particularidade, freqüente em flores laterais é a sua *dorsiventralidade:* nas pétalas e às vêzes nas sépalas distingue-se uma parte dorsal e uma ventral, formando-se um lábio superior e um lábio inferior, como nas *Orchideas, Labiatas,* etc. Nas *Papilionátas* (fig. 226) a parte superior torna-se o *"vexillum"* vistoso e a parte inferior se compõe da *"carina"* e das *"alas"*.

Estas partes inferiores servem de pouso aos insetos, e os estames e o estigma geralmente estão dispostos de maneira a facilitar o contato com o visitante.

Outra tendência que observamos na formação das famílias de origem mais recente, é o deslocamento do ovário para o fundo floral, deslocamento êsse que é demonstrado pelo esquema da fig. 227, que repre-

(1) *Sympetalae, Gamopetalae, Dialypetalae,* do grego: *sym* = com; *gamein* = casar, unir; *dialyein* = dissolver, decompor.

senta a transição da flor *hipógina,* através da flor *perígina,* até a flor *epígina* (1).

No último caso em que as outras partes da flor se encontram acima do ovário já é difícil reconhecer na flor um brôto. Na verdade, durante o desenvolvimento que acabamos de acompanhar, a flor perde seu caráter primitivo de um brôto. Fisiològicamente, transformou-se num só órgão novo, para o qual a lingüística criou o nome de flor.

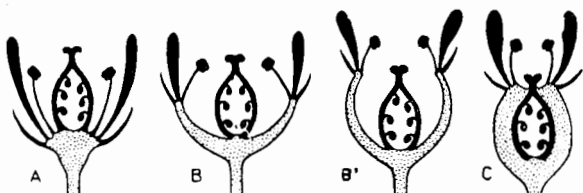



Fig. 227
Posição das outras partes florais em relação ao ovário. Flores: A, hipógina; B e B', períginas; C, epígina.
Seg. Strasburger, Lehrbuch.

A aparência vistosa das flores é muitas vêzes realçada pela posição que tomam nos caules ou ramos, formando-se sistemas ramificados chamados ***inflorescências.*** Só em poucos casos excepcionais as flores são formadas na parte basal dos caules, saindo de gomos dormentes, como no cacau ou na jaboticaba, caso êsse que se chama *caulifloria.* Geralmente, as flores se formam no ápice dos ramos, aparecendo na superfície das plantas e revestindo as copas das árvores. A fig. 228 mostra alguns dos

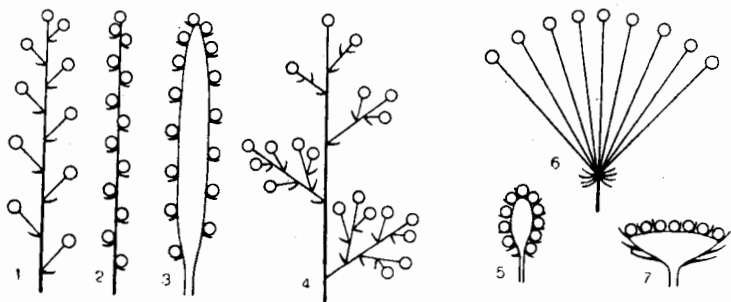



Fig. 228
Alguns tipos fundamentais de inflorescências: 1, cacho simples; 2, espiga; 3, espádice; 4, cacho composto (panículo); 5 e 7, capítulos; 6, umbela.
Seg. Strasburger, Lehrbuch.

tipos mais gerais de inflorescências: em 1, vemos o *cacho simples* com as flores laterais pecioladas; chama-se *espiga* quando as flores são sésseis (2); quando o próprio eixo se intumesce como nas *Araceae,* nas *Taboas* e nas *Piperaceae* (3), toma o nome de *espádice.* O cacho composto chama-se *panículo* (4). Quando várias flores saem na mesma altura temos

(1) *Hypo, peri* e *epigyno,* dos prefixos gregos: *hypo* = sob; *peri* = em redor; *epi* = = sôbre.

a *umbela* (6); umbelas, freqüentemente compostas, são característicos para a família das *Umbelliferas,* p. ex., *Erva-doce* (*Foeniculum vulgare*). Flores sésseis na mesma altura, formam, os *capítulos* característicos das *Compostas,* mas na América do Sul são também representados na família das *Eriocaulaceas* (*Monocotyledoneas*) e outras. Tôdas essas inflorescências são *racêmicas* (1) ou *monopodiais* (vide pág. 137), possuindo um só eixo principal. Há casos em que o eixo principal pára de crescer, sendo superado pelos ramos secundários; chegamos, assim, a inflorescência do tipo *cimoso* (2) que se baseia no *dicásio,* figurado na pág. 137. Muitas vêzes as inflorescências são características para certas famílias ou ordens, como os espadices para as Spadiciflorae, os capítulos para as Compostas e as umbelas para as Umbelíferas.

Fig. 229
A, fruto com deiscência loculicida de algodão (*Gossypium sp.*); B, semente (cortada). Seg. Warming.

Fruto. — Fecundada, a flor murcha logo, perdendo geralmente cálice, corola e anteras. Permanece só o ovário que cresce, transformando-se no fruto. Os carpelos formam as paredes (*Pericarpo*).

Variadíssimos, como as flores, são também os frutos nos diversos grupos das *Phanerogamas.* Sua forma depende da maneira como devem ser espalhadas as sementes. Encontramos novamente dois fatôres importantíssimos para esta tarefa: o vento e os animais.

Frutos adaptados ao transporte pelo vento podem possuir órgãos planadores que permitem o transporte de todo o fruto (sâmaras). Tais frutos geralmente não se abrem. Em outros casos são as sementes que possuem alas ou pêlos, como os do algodão, da paineira, etc. Nesse caso, os frutos se abrem, deixando escapar só as sementes. Tais frutos geralmente têm paredes sêcas e são chamados cápsulas. A abertura das cápsulas chama-se *deiscência,* abrindo-se geralmente os frutos por fendas que se dão na região dos septos (deiscência *septicida*), ou no meio das paredes dos lóculos (deiscência *loculicida,* fig. 229), ou ainda em outros lugares predeterminados.

Quando se trata do transporte por animais, frutos ou sementes podem possuir um exterior colante ou aderente, como nos vários *carrapichos* dos nossos campos e matas. Nesse caso, frutos ou sementes são transportados e depositados ao acaso. Muito comum no reino vegetal é a formação de frutos comestíveis, frutos êsses que, em geral, se tornam *carnosos,* formando uma polpa comestível. Os animais, muitas vêzes

(1) *Racêmico,* do latim: *racemus* = cacho.
(2) *Cymoso,* derivação duvidosa, do grego: *cyme,* utilizada, ao que parece, para denominar os brotos de couve.

pássaros, que comem a polpa, espalham as sementes, caso êsse que pode ser observado especialmente nas *Ervas-de-passarinho.* A existência de tantos frutos de bom paladar explica-se desta maneira. A maioria das frutas cultivadas pelo homem pertence a essa categoria; a horticultura, desde épocas pré-históricas trabalhou sempre para o aperfeiçoamento — por cruzamento e seleção — dêsses frutos.

Segundo as necessidades, as paredes do fruto transformam-se, distinguindo-se, às vêzes, algumas camadas. Em geral, podemos observar uma camada exterior, uma média e uma interior, respectivamente, *epicarpo, mesocarpo* e *endocarpo.* Muitas vêzes é o mesocarpo que se torna carnoso. No caso do Côco da Bahia (fig. 230) o mesocarpo forma a camada fibrosa, tão conhecida, que permite ao fruto boiar. O endocarpo torna-se a casca dura que protege a única semente com a qual concresce.

Fig. 230
Côco (fruto de *Cocos nucifera*), corte long.: *ep, epi: me,* meso; *end.* endocarpo; *esp,* endosperma; *e,* embrião. Seg. Pilger.

As frutas de mesa nos oferecem tantos exemplos de frutos com uma ou várias sementes, que não é preciso insistir, aqui sôbre essa parte.

A côr viva dêsses frutos explica-se, como a das flores, pela necessidade de atrair a atenção dos animais. É interessante notar que nos frutos prevalecem côres que são raras nas flores, por exemplo, o vermelho bem puro de muitas bagas, como sejam as framboesas, etc. Essa parte do espectro não é visível para a maioria dos insetos. Quando é encontrada em flores como nas *Erythrinas,* podemos ter certeza que são flores procuradas não por insetos mas por pássaros.

Às vêzes a polpa doce não é formada pelo próprio ovário. Assim, no caso do caju — *Anacardium occidentale* — é o pecíolo que se intumesce. Na subfamília *Pomaceae,* das *Rosáceas,* da qual fazem parte a pereira, a macieira, o marmeleiro, é o receptáculo da flor que se torna polpa, em redor do ovário (fig. 231).

Às vêzes tôda a inflorescência forma um fruto composto que pode ser chamado infrutescência. Na Amora (*Morus alba* e *M. nigra*), as flores femininas transformam a corola remanescente em polpa. Tôdas as flores femininas formam bagas parciais que concrescem formando a baga composta (fig. 232). O Abacaxi e o Figo também são infrutescências.

Semente. — No interior do fruto os óvulos se transformam em sementes. A parte essencial da semente é o embrião, que nasce da oosfera fecundada, do zigoto. A fig. 233 ilustra o caso das *Coníferas.* Ambas as oosferas visíveis foram fecundadas, encontrando-se em fases diferentes de desenvolvimento. As primeiras divisões do zigoto estão localizadas na

Fig. 231
Pseudofrutos: A, de Caju (*Anacardium occidentale*); B, de Marmelo (*Cydonia vulgaris*). Seg. Baillon, ap. Kerner.

sua parte inferior. Só as células desta extremidade se transformam no embrião verdadeiro que deixa ver, à direita, os *cotilédones* e o ponto vegetativo. As células intermediárias formam um "*suspensor*", formação essa cuja utilidade é difícil explicar. Geralmente, formam-se, por divisão, vários embriões de um só zigoto, mas finalmente sobrevive só um. Além do embrião encontram-se, no interior do saco embrionário, as células vegetativas do protalo. Formam o *endosperma* (1) ou *albume* que contém substâncias de reserva para a germinação. O endosperma existe nas *Gymnospermas* antes da fecundação; é chamado endosperma *primário*, para distingui-lo do endosperma das *Angiospermas*.

Fig. 232
Amora (*Morus nigra*): A, inflorescência feminina; B, baga composta; C, flor masculina; D, flor feminina. Orig.

Nas *Angiospermas* a oosfera fecundada também dá origem a um embrião munido geralmente de um suspensor (fig. 234). O endosperma, porém, é de proveniência diferente. Forma-se depois da fecundação. São os dois núcleos polares que se fundem, unindo-se, ainda com o segundo núcleo gerador, como vimos na fig. 208, à pág. 212. O núcleo triplóide que

(1) *Endosperma*, do grego: *endo* = dentro; *sperma* = semente.

se forma assim, sofre várias divisões que se dão no plasma livre do saco embrionário, sem formação de membranas; essas divisões geralmente se dão simultâneamente. Assim, encontramos finalmente muitos núcleos livres, distribuídos pelo protoplasma do saco embrionário. Só mais tarde vem o momento em que êsses núcleos, depois de uma última divisão simultânea, são envolvidos por membranas, formando assim o verdadeiro tecido do endosperma (*endosperma secundário*).

Fig. 233

Esquema do óvulo fertilizado de uma *Gymmosperma: k*, micrópila; *h*, grão com tubo polínico (*i*) fertilizando as oosferas nos 2 *arquegônios* (*e* e *e'*); o *zigoto* da esquerda dividiu-se poucas vêzes, o da direita já desenvolveu: *g*, embrião; *f*, suspensor; *d*, endosperma primário; *c*, parede do saco embrionário; *b*, nucelo; *a*, integumento. Seg. Sachs.

A semente, que cresceu durante êsse desenvolvimento, utiliza a parte exterior do nucelo para formar a sua casca. No interior, encontramos o embrião com dois *cotilédones* nas *Dicotyledoneas*, ao passo que nas *Monocotyledoneas*, existe só um, que geralmente é transformado, como veremos adiante.

A fig. 235 mostra um corte longitudinal da semente madura de mamona. Contém o embrião, isto é, uma plantinha já preformada, com *radícula* (w), *caulículo* e dois *cotilédones* (Co). O caulículo, entre os cotilédones, possui um pequeno ponto vegetativo que às vêzes já formou mais umas fôlhas. A parte do caulículo, por baixo dos *cotilédones*, chama-se "*hipocotile*" (H) e será a primeira a distender-se na germinação. Tôda esta plantinha é envolvida por um endosperma bem desenvolvido, munido das substâncias oleaginosas com as quais o embrião vai se alimentar durante a germinação.

Em outros casos, como p. ex., no feijão e nas demais *Leguminosas*, o endosperma é reduzido; quase tôda a cavidade da semente é ocupada pelos dois cotilédones que nesse caso têm a função de armazenar, no próprio tecido, as substâncias de reserva.

Germinando, o embrião rompe a casca da semente, libertando os cotilédones que desabrocham. Em alguns casos, os cotilédones não saem da semente, só se desprendem o ponto vegetativo e as fôlhas que seguem os cotilédones. Isso é freqüente nas *Monocotyledoneas* em que o

único cotilédone fica incluído na semente. A fig. 236 mostra a germinação do milho. Nas *Gramíneas* o embrião se encontra de um lado da semente, ao passo que a outra parte contém o endosperma. A fôlha cotiledonar transforma-se num órgão especial, o "*Scutellum*" que tem a função de absorver, durante a germinação, as substâncias do endosperma. A fôlha subseqüente, nas *Gramíneas,* forma geralmente a bainha pontiaguda que estudamos na pág. 156 (fig. 147), com o nome de *coleoptile,* destinada a facilitar a perfuração da terra.

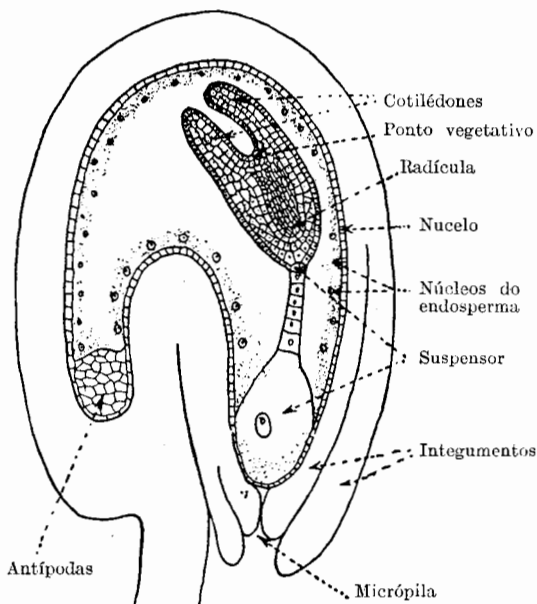



Fig. 234
Óvulo campilótropo de « Bolsa do Pastor » (*Capsella bursa pastoris*), com embrião. Seg. Bergen and Caldwell, ap. Holman and Robbins.

Um caso muito interessante é o do "*Mangue*" (*Rhizophora Mangle*), planta dominante dos nossos manguezais. Todos os livros citam o caso de formação das suas sementes que já no interior do fruto crescem tanto, que o hipocotile sai do fruto perpendicularmente para baixo, atingindo o comprimento de vários decímetros (fig. 237). Quando, finalmente, a semente se afasta da planta-mãe, deixa no interior do fruto os cotilédones concrescidos. A plantinha, caindo de certa altura, perfura a lama e ràpidamente forma raízes laterais. Em tôdas as praias do Brasil, como em todo o litoral tropical e subtropical, essas sementes são freqüentes (veja pág. 232).

A *germinação* das sementes é iniciada quando estas são humidecidas por água; existe, porém, em muitas sementes, uma regulação interior que facilita ou possibilita a germinação só em determinadas condições e em determinada estação. Assim, por exemplo, muitas sementes só germinam em ambiente iluminado, outras, ao contrário, só no escuro. Tôdas só germinam depois de um prévio período de humidecimento e em temperaturas favoráveis; algumas, além disso, só depois de terem atravessado uma época de repouso. Em alguns casos êste repouso deve corresponder a um período de frio, o que, pràticamente, transfere a germinação, em climas frios, para a época primaveril. Em outros casos a estação favorável é pressentida interiormente pela semente; então, o repouso não é completo, mantendo-se um ritmo interior em seus fenômenos fisiológicos. Estas sementes só despertam em condições favoráveis, na primavera; se essa estação passa sem que tais condições se realizem, repousam novamente até a primavera seguinte, não germinando em outra estação, embora haja condições propícias. A respeito dêsse comportamento das sementes, pouco sabemos, por enquanto, no que se refere às plantas sul-americanas. Um estudo detalhado sôbre o assunto seria de grande interêsse teórico e prático.

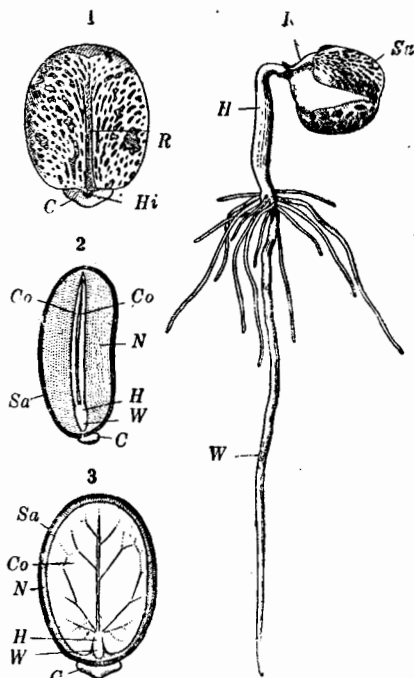



Fig. 235

Mamona (*Ricinus communis*). Germinação: 1, semente com o « hilo » *Hi*, a base de inserção no funículo e os restos dêste, a « rafe » *R*; *C*, carúncula, uma intumescência que em *Euphorbiaceas* cobre a micrópila; 2 e 3, cortes long. da semente em duas direções; 4, semente germinada; *Co*, cotilédones: *N*, endosperma; *Sa*, casca; *W*, raiz; *H*, hipocotile (parte do caule por baixo dos cotilédones). Seg. W. Troll, ap. Strasburger, Lehrbuch.

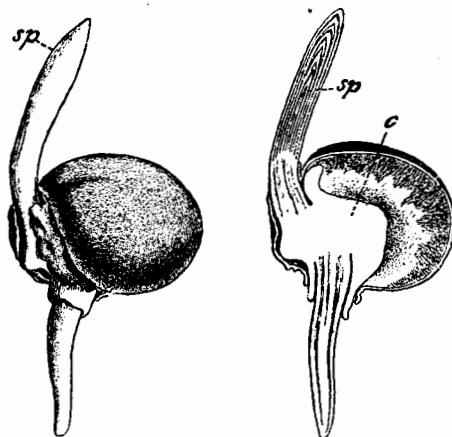



Fig. 236
Semente de milho (*Zea Mays*) em germinação. Vista geral e corte: *sp*, brôto revestido pela coleoptile; *c*, cotilédone (*Scutellum*). Seg. Baillon, ap. Wettstein.

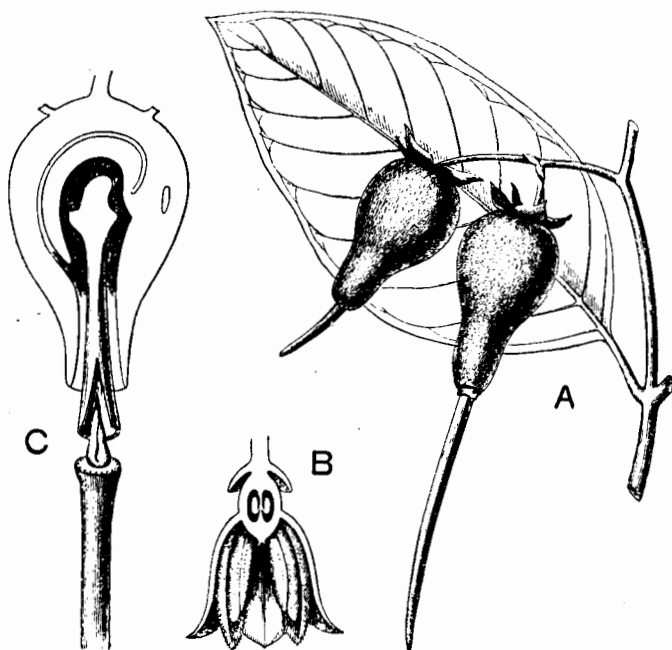



Fig. 237
Formação das sementes de « Mangue » (*Rhizophora conjugata*): A, Ramo; B, flor cortada; C, fruto cortado; o hipocotile com o ápice da plantinha separa-se dos cotilédones concrescidos que permanecem no fruto. Seg. Kerner.

H. Representantes mais importantes das famílias principais de plantas superiores

As muitas famílias de plantas superiores (ou plantas com flores) podem ser divididas em dois grupos naturais: o das *Monocotyledoneae* e o das *Dicotyledoneae.* Em ambos faz-se notar a evolução dos tipos de flores primitivas até os das muito aperfeiçoadas, segundo as linhas já anteriormente abordadas.

A flor primitiva, provàvelmente, foi pouco vistosa, adaptada ao transporte do pólen pelo vento (anemofilia). A transição para a insetofilia trouxe consigo o desenvolvimento de corolas vistosas, de nectários, de perfume e de muitas transformações na própria morfologia da flor. As pétalas separadas passam a concrescer formando um tubo, às vêzes muito comprido, como única via de acesso ao néctar secretado e conservado no fundo da flor. — Esta disposição pode ser auxiliada pela formação de *esporas* compridas (como na esporinha, nas chagas, onde uma sépala forma um saco prolongado) — Já vimos como as flores muitas vêzes perdem a sua forma regular ou radial, tornando-se zigomorfas, destinando às vêzes um lábio inferior para servir de suporte ao inseto visitante. Finalmente temos uma transição das flores hipóginas a epíginas, já explicada na fig. 227.

Tôdas estas alterações fazem com que seja difícil reconhecer numa flor bem aperfeiçoada, simpétala e epígina, ainda, a organização do brôto floral que constitui uma flor primitiva e cujo tipo foi apresentado na magnólia (*Polycarpicae*), fig. 222.

Flores do tipo das *Polycarpicae* costumamos colocar na base do sistema filogenético que conduziu à diferenciação dos outros grupos, tanto de *Monocotyledoneae,* como de *Dicotyledoneae.* As famílias das *Polycarpicae* são incluídas nas *Dicotyledoneae,* mas a ordem das *Helobiae,* entre as *Monocotyledoneas,* tem flores quase idênticas às de *Ranunculaceae,* família das *Polycarpicae.*

Os distintivos que aos poucos se estabeleceram entre os dois grupos foram os seguintes:

Nas flores das *Monocotyledoneae* prevalece o número de 3 ou seus múltiplos para pétalas, sépalas, estames e carpelos. Nas *Dicotyledoneae* é freqüente o número de 5. Entre as *Polycarpicae* porém, encontramos muitas vêzes o número de 3, como nas magnólias, anonas e especialmente nos loureiros (*Lauraceae*). Distintivo muito característico é a disposição dos feixes que formam um cilindro único, na maioria das *Dicotyledoneae* ao passo que estão distribuídos difusamente no caule das *Monocotyledoneae* (vide pág. 102). Como estas últimas carecem de crescimento secundário em espessura, formas arbóreas são raras, existindo quase só entre as palmeiras (*Palmae*) e entre as *Dracaenas* mencionadas na pág. 110. Por isso, na maioria das *Monocotyledoneas* também há falta de uma raiz pivotante duradoura. Em geral são herbáceas, às vêzes ervas gigantescas como as bananeiras cujas fôlhas com suas bainhas imbricadas formam um pseudotronco. As fôlhas das Monocotyledoneas,

geralmente, mas não sem exceção; têm nervuras paralelas. Mencionamos finalmente os cotilédones, que existem em número de dois nas *Dicotyledoneae.* O único cotilédone das *Monocotyledoneae* fica geralmente incluído na semente.

MONOCOTYLEDONEAE

A flor de *Sagittaria* (fig. 238) apresenta o tipo primitivo da ordem das *Helobiae,* grupo êste que se compõe especialmente de plantas aquáticas. Na maioria delas existem vários ovários unicarpelados (*apocarpia*), que porém, em certos casos, limitam o seu número ao de 3 ou 6; concrescem então entre si formando ovários compostos.

Fig. 238

Helobiae. Sagittaria Seubertiana; ao lado fruto com muitos ovários apocárpicos de *Sagittaria sagittifolia.* Seg. Martius e Buchenau.

Isto torna-se regra na ordem das *Liliiflorae* cuja flor típica é encontrada na família das *Liliaceae,* por exemplo, no lírio (*Lilium*) e em *Hemerocallis,* cultivados em nossos jardins (fig. 223). O mesmo tipo de flores encontramos no alho (*Allium*) e nos melindres e espargos (*Asparagus*), como também nas *Dracaenas.* Estas últimas pertencem à família das *Convallariaceae,* distinguida das *Liliaceas* (que têm frutos em cápsulas) pelos frutos em forma de bagas.

Flores semelhantes, mas com o ovário inferior encontramos na família das *Amaryllidaceae,* representada entre nós pelo gênero vistoso de *Amaryllis,* de *Agave* e *Fourcroya* (Pita) e muitos outros; a família próxima das *Vellozias* de lugares secos ou rochosos de nosso interior pertence a êste grupo.

Flores epíginas, do mesmo tipo, encontramos também nas *Bromeliaceae,* a família do abacaxi, família esta limitada à América, especialmente à A. Meridional e Central. Muitas delas vivem como xerófitas sôbre rochas; outras como epífitas em árvores, p. ex. a "barba-de-velho" (*Tillandsia usneoides*), interessante por sua semelhança com um líquen (*Usnea*).

A família da nossa íris (*Iridaceae*) desvia-se um pouco mais do tipo, por perda do ciclo interior dos estames (fig. 239) Os três estames restantes são apressos aos 3 estigmas, que em íris são grandes, petalóides. O único lugar para a recepção do pólen no estigma é constituído por uma escama receptiva, no lado inferior do estigma, justamente acima do estame. Uma abelha entrando descarrega primeiramente o pólen que já traz de outra flor, no lado superior desta escama; penetrando mais

para o interior da flor, o dorso do inseto esbarra na antera, carregando-se de novo pólen. Êste, ao sair da flor, não pode entrar em contato com o lado superior da escama que é ùnicamente receptivo e só pode ser descarregado na ocasião da visita a outra flor. A um aparelhamento dêste tipo que evita a autofecundação pela disposição dos órgãos florais, chama-se de *hercogamia* (1). Muito parecida com a ordem das Liliiflorae é a das *Enantioblastae* (2); êste grupo geralmente tem óvulos retos, ao passo que em quase tôdas as outras *Monocotyledoneas* encontramos óvulos anátropos. A esta ordem pertencem as Trapoerabas ou *Tradescantias* (da família das *Commelinaceae*) e a família das *Eriocaulaceae*, muito bem representada nos brejos do Brasil, com pequenas flores reunidas em capítulos.

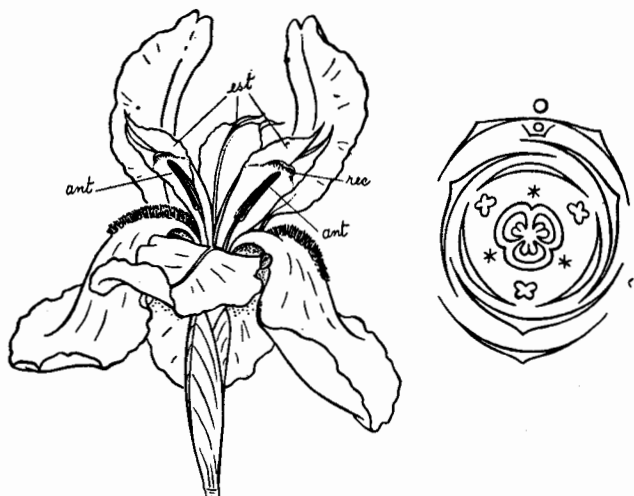



Fig. 239
Iridaceae. Flor de *Iris germanica*; *ant*, anteras; *est*, estigmas; *rec*, escamas receptivas do lado inferior dos estigmas. Orig. Ao lado diagrama. Seg. Warming.

Partindo do tipo das *Liliiflorae*, teve desenvolvimento bem diferente a ordem das *Glumiflorae*, desenvolvendo flores pouco vistosas, com polinização pelo vento. Plantas anemófilas geralmente crescem em agregados grandes; só assim existe a probabilidade de os grãos polínicos chegarem ao estigma da mesma espécie. Por isso as 3 famílias *Juncaceae*, *Cyperaceae* e *Gramineae* (tôdas herbáceas, com exceção das *Bambusae*), ocupam de preferência brejos (*Juncaceae* e *Cyperaceae*) ou campos e savanas (*Gramineae*).

As *Juncaceae* ainda têm o tipo da flor de *Liliiflorae* (fig. 223), porém com as sépalas e pétalas membranáceas. Nas *Cyperaceae*, pétalas e sépalas involuem e a proteção das pequenas flores cabe a *brácteas* ou *glumas*.

---

(1) *Hercogamia* do grego *hercos* = cêrca.
(2) Que tem o embrião (blasto) no lado oposto (enantios) ao hilo.

Nas *Gramineae,* a flor é mais reduzida (fig. 240). O fruto é unicarpelar existindo porém, geralmente, dois estigmas. Os estames existem em número de 3, (excepcionalmente 6 no bambu e no arroz ou

Fig. 240
Gramineae. Poa pratensis, espícula e flor aberta, pálea inferior afastada para baixo *g.i.*, gluma inferior; *g.s.*, gluma superior; *p.i.*, pálea inferior; *p.s.*, pálea superior; *l*, lodículas. Seg. Nees ab Esenbeck.

menos, sendo um no sapé (*Imperata brasiliensis*). Das pétalas parece que se conservaram 2 pequenas escamas chamadas *lodiculae* (em *Bambusa* ainda três). As lodículas tornam-se muito túrgidas no momento de abertura da flor (*antese*), separando por isso as *glumas interiores,* ou *páleas* que envolvem a flor.

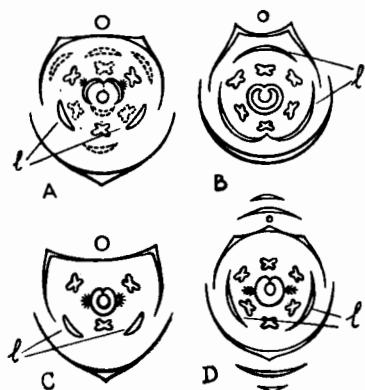



Fig. 241
Gramineae. Diagramas florais; *A*, Diagrama teórico, em pontilhado as partes involuídas; *B*, *Bambusa*, com 6 anteras e 3 lodículas; *C*, Trigo (*Triticum*) com 3 anteras e 2 lodículas; *D*, Arroz (*Oryza*) com 4 glumas, 6 anteras e 2 lodículas; *l.*, lodículas. Seg. Eichler e Hackel.

Geralmente cada flor possui duas destas escamas ou *páleas* (*pálea inferior* e *superior,* fig. 241). Nos casos típicos, várias flores unem-se em pequenas espigas, *espículas,* que por sua vez possuem duas (ou mais) brácteas envolventes, maiores, as *glumas* (*gluma inferior* e *superior*). No arroz a espícula é uniflora, possuindo 2 pares de pequenas glumas por baixo das páleas. As espículas se agrupam em inflorescências maiores, espigas compostas, como na cevada (*Hordeum*) no trigo (*Triticum*), e no centeio (*Secale*).

A aveia e o arroz têm cachos compostos, como também a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). No milho (*Zea mays*) temos as flores masculinas

separadas no ápice da planta, em cachos compostos. As inflorescências femininas são inseridas lateralmente em espigas muito grossas, protegidas por várias fôlhas envolventes, das quais só saem os estigmas muito compridos.

Os cereais são cultivados desde épocas pré-históricas. O milho provém da América Central e do Sul. A cana-de-açúcar e o arroz parecem provir da Índia; aveia, cevada, trigo e centeio acompanharam as culturas nascentes, como parece, da Ásia até à Europa, ao passo que a África parece ter contribuído com os gêneros de Sorghum, Panicum e Setaria.

Spadiciflorae. — Flores pequenas caracterizam também a ordem das *Spadiciflorae,* que reúne geralmente as flores em inflorescências grandes, que muitas vêzes formam espigas grossas, chamadas de *espadice* (*spadix*). Nas duas famílias mais importantes, *Palmae* e *Araceae,* a inflorescência é protegida por uma ou mais brácteas grandes, as espatas.

As palmeiras, com seu estipe alto, não ramificado, fôlhas grandes, palmadas em leque, ou penadas, caracterizam as regiões tropicais, sendo muitas espécies ornamentais e úteis, cultivadas, ou exploradas como o coqueiro da Bahia (*Cocos nucifera*), a tamareira (*Phoenix dactylifera*), a carnaúba (*Copernicia cerifera*), o babaçu (*Orbignya Martiana*). O nosso palmito, que comemos, é o ponto vegetativo de *Euterpe edulis.* O marfim vegetal é o endosperma duro de uma palmeira amazônica, *Phytelephas.*

As flores (fig. 242) podem ser hermafroditas, ou ter os dois sexos separados, às vêzes em pés diferentes, como na tamareira. Os ovários compõem-se de três carpelos separados, concrescidos, ou uniloculares, por supressão de duas lojas, como no côco da Bahia (fig. 230).

Fig. 242

Palmae. A, Espata e espadice do Tucum (*Bactris setosa*); *B,* Ramo da inflorescência do côco da Bahia, embaixo uma flor feminina com duas masculinas, em cima só flores masculinas; *C* e *D.* Flor masculina do côco da Bahia com e sem periântio; *E,* Flor hermafrodita de *Corypha; F,* Diagrama de uma inflorescência parcial (dichasio) de *Geonoma,* no meio uma flor feminina, ao lado duas masculinas. Seg. Wettstein e Drude.

Além de outras famílias parecidas com as *Palmae* como as *Cyclanthaceae* (a *Carludovica palmata* é a fornecedora da palha para os chapéus de Panamá) e *Pandanaceae* (com o Pandanus), pertencem a esta ordem as *Typhaceae*

com a *Typha dominguensis* (taboa) e especialmente a grande família das *Araceae,* com o copo-de-leite, chamado de *Calla aethiopica,* mas mais corretamente de *Zantedeschia,* os *Philodendron, Monstera, Anthurium* das nossas florestas. Neste grupo a espata é permanente, abrigando sempre o grande espadice. No interior da espata encontramos as flores muitas vêzes separadas segundo o sexo, e bem reduzidas, mas geralmente marcando ainda o tipo *monocotyledoneo,* embora freqüentemente tetrameras (fig. 243).

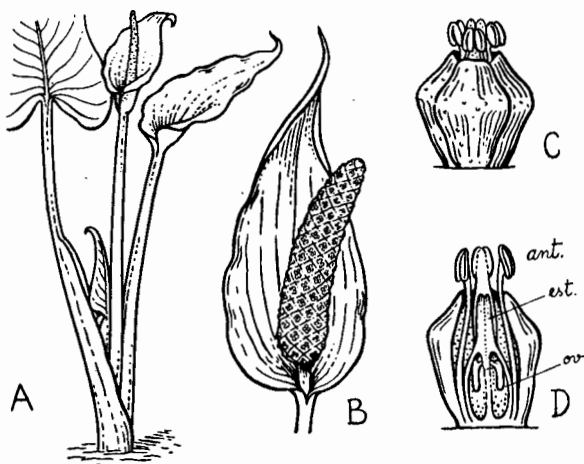



Fig. 243

Araceae. A, planta de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*); *B,* espata e espadice de *Anthurium Lehmannii; C,* e *D,* flores isoladas, hermafroditas de *Anthurium radicans* e *A. denudatum,* inteira e em corte longitudinal; *ant.* anteras; *est,* estilete; *ov,* ovário. Seg. Engler.

Scitamineae. — Desenvolvimento especial tiveram as duas ordens: *Scitamineae,* e *Gynandrae.* Em ambas, as flores tornam-se muito vistosas, dorsiventrais, e a organização chega a tão grande perfeição, que a produção de pólen e o número dos estames pôde ser muito reduzido.

Entre as *Scitamineae,* a família das *Musaceae* representada pela bananeira (*Musa*) e pelos caetês (*Heliconia*) ainda conserva o feitio essencial da flor *monocotyledonea,* tendo porém a corola dois lábios e cinco, em vez de seis estames (fig. 244). Nas *Zingiberaceae,* (família do gengibre) a qual pertence o nosso lírio do brejo (*Hedychium coronarium*) que é aliás planta imigrada da Ásia, persiste só um estame fértil, sendo que um desapareceu por completo, e os quatro restantes tomaram forma petalóide. O estilete, fino e comprido, fica, neste caso, abrigado pela pequena fossa formada pelas tecas da antera, e por ela sustentada (fig. 245). Na *Canna indica* (biri), família das *Cannaceae,* a mesma transformação dos estames em pétalas teve lugar e, mesmo o último estame

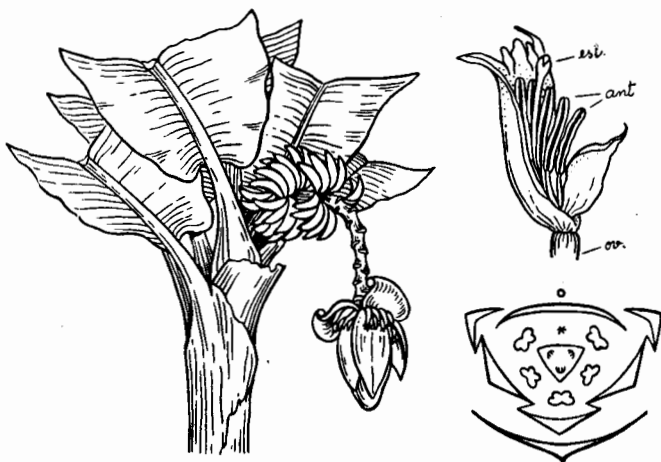



Fig. 244

Musaceae. Musa Cavendishii (Banana Nanica), à esquerda um cacho, à direita uma flor, e diagrama desta; *est*, estigmas; *ant*, anteras; *ov*, ovário ínfero. Seg. Schumann e Eichler.

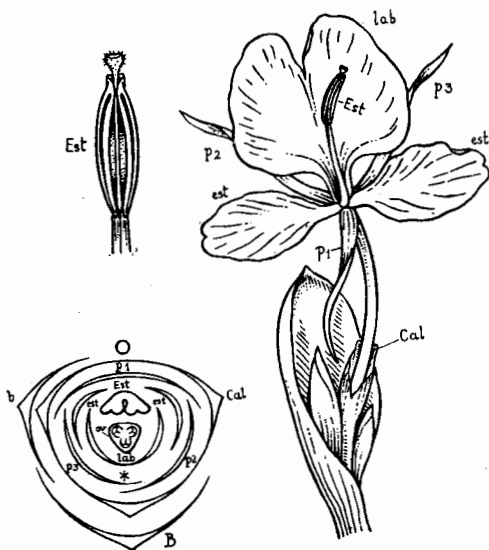



Fig. 245

Zingiberaceae. Hedychium coronarium (Lírio do brejo). À direita inflorescência com uma flor aberta; à esquerda o único estame fértil com o estigma, vendo-se o estilete passando entre as tecas da antera; embaixo o diagrama: *B* e *c*, duas brácteas; *Cal;* o cálice trímero concrescido; p_1, p_2, p_3, as três petalas; *, lugar do estame desaparecido; *est*, os dois outros estames do ciclo exterior, transformados em fôlhas florais; *lab*, os dois estames interiores transformados num labelo; *Est*, o terceiro estame interior, o único fértil; *ov*, ovário. Ao desabrochar a flor faz uma torsão, colocando o labelo para cima. Original, o diagrama seg. Eichler.

fértil só o é pela metade; a outra metade do estame aparece como pétala, em cuja margem fica a metade restante da antera.

Na ordem das *Gynandrae,* existe só a família das *Orchidaceae.* Também aqui restam do tipo normal de *Monocotyledonea,* ainda três pétalas e 3 sépalas, tôdas elas geralmente petalóides. Uma das pétalas, a superior do ciclo interior, torna-se um labelo vistoso. O ovário, ínfero, como nas *Scitamineae,* muitas vêzes toma forma e função de pedúnculo.

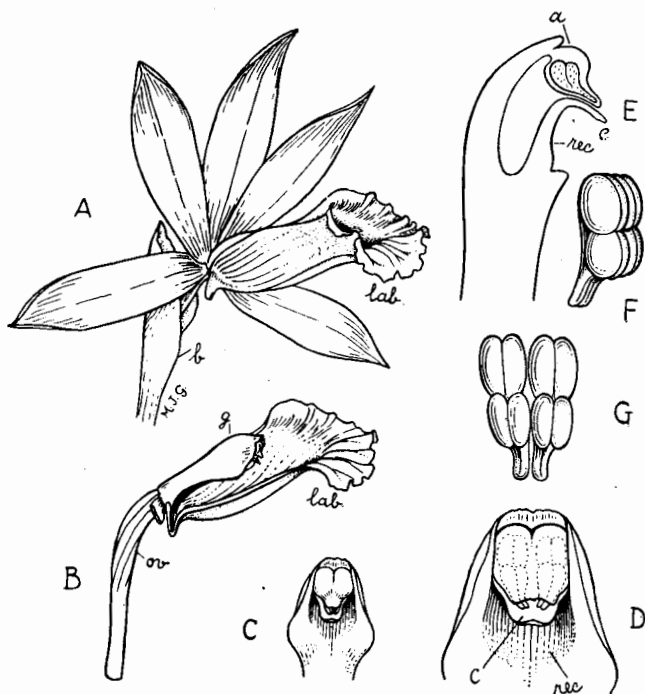



Fig. 246

Orchidaceae. Phajus grandiflorus. A, vista geral de uma flor; *B,* a mesma, afastadas a bráctea, as sépalas e as pétalas com exceção do labelo; *C* e *D,* ápice do ginostêmio, visto de frente, em fraco e maior aumento, mostrando a posição da antera com os polínios e as caudículas *E,* corte longitudinal através do mesmo; *F* e *G,* os polínios da antera, vistos de lado e de frente. *a,* antera; *c,* apêndice do ginostêmio (*rostellum*); *b,* bráctea; *g,* ginostêmio; *lab,* labelo; *rec,* parte receptiva dos estigmas. Original.

Uma torção dêste, pode inverter a posição da flor, ficando o labelo no lado inferior, que vai servir de plataforma de repouso ao inseto. Em *Cypripedilum* e seus parentes, permanecem 2 estames férteis; na maioria das outras formas existe só uma única antera sem filête.

Característico para tôda a família é o concrescimento do ou dos estames com o estilete, para a formação de uma coluna — o "gynostemio" (1). O concrescimento da parte masculina e feminina da flor deu origem ao nome de *Gynandrae.* Os grãos polínicos geralmente ficam reu-

(1) *Gynostemio,* do grego: *gyne* = fêmea; *stemon* = estame.

nidos nas tecas da antera, formando em cada uma ou várias massas, 4, por exemplo no caso de *Phajus* (fig. 246). A base da antera concresce com uma saliência apical do *gynostemio;* o ápice da antera encosta-se a outra excrescência (C) dêle, o rostelo (*rostellum*). A parte apical dos polínios transforma-se numa massa colante denominada *caudícula*. As duas *caudículas* (cada uma dividida longitudinalmente), provenientes de duas *tecas,* são visíveis em D até G na fig. 246. Os insetos, pousando no *labelo,* tocam com a cabeça no rostelo (C), levando consigo os dois polínios cujas caudículas colantes aderem ao inseto. Êste, visitando outra flor deixa ali todo o conjunto dos polínios na concavidade visível em C, D e E, que é a parte receptiva dos estigmas dando-se assim a polinização.

Fig. 247

Orchidaceae. Diagramas: *A,* de Orchidiacea monândrica (com um estame); *B,* de Orchidacea diândrica (*Cypripedilum*); *l,* labelo; O, estames rudimentares (staminodios). Seg. Eichler.

A quantidade das formas é grande, muitas espécies são epifíticas das árvores tropicais. As *Cattleyas, Laelias, Oncidium, Odontoglossum, Miltonias* e tantas outras são muito cultivadas pelo valor ornamental, as *Vanilla* (baunilha) pelos frutos aromáticos. *Phajus* é uma *Orchidacea* terrestre freqüente nos nossos jardins.

DICOTYLEDONEAE

As muitas famílias das *Dicotyledoneae* difìcilmente podem ser reunidas em grandes grupos, segundo o seu parentesco. Assim, nos livros sistemáticos, são agrupadas diferentemente, segundo as opiniões dos autores. Uma divisão porém é feita geralmente: flores com pétalas concrescidas caracterizam o grupo das *Sympetalae* ou *Gamopetalae* (1) que reúne as famílias mais avançadas e, como parece, mais novas. As plantas com pétalas separadas seriam então as *Choripetalae* (2) e, finalmente, podem ser distinguidas, no grupo das *Apetalae* as plantas sem pétalas, cujas flores não deixam distinguir corola e cálice, ou as que carecem de ambos. Êste último grupo, porém, é muitas vêzes reunido com as *choripetalas,* pois, na prática a separação é difícil.

Na terminologia aparecem denominações diferentes. Nas grandes enciclopédias organizadas por *Engler* com a finalidade de apresentar todos os gêneros e as espécies conhecidas, as *Sympetalae* aparecem como *Metachlamydeae* (3), e os dois outros grupos reunidos, como *Archichlamydeae* (4). Outros sinônimos são *Dialypetalae* (5), em vez de *Choripetalae* e *Monochlamydeae* por *Apetalae.*

(1) Do grego: *sym* = unido; *gamein* = casar, unir.
(2) Do grego: *choris* = separado.
(3) Do grego: *meta* = após, posteriormente formado; *chlamys* = túnica, no sentido de perianto.
(4) Do grego: *archi* = primeiro, primitivo.
(5) Do grego: *dialyo* = dissolver, separar.

Choripetalae

A ordem: *Polycarpicae*, representa, sem dúvida, um dos grupos mais primitivos, com flores cujo tipo já foi ilustrado para a família das *Magnoliaceas* (fig. 222, pág. 222). Ali aprendemos que tais flores primitivas são *acíclicas*, isto é, as partes florais estão dispostas em espiral. Todo o eixo floral ainda tem o caráter de um brôto, cuja extremidade é coroada de muitos ovários unicarpelares (*folículos*) e cujo grande número deu o nome de tôda a ordem.

Logo aparece, porém, no mesmo grupo a tendência de formar flores *cíclicas*. Assim, as *Nymphaeaceae* (*Nymphaea* e também a *Victoria regia*) têm os estames espiralados, porém, os ovários; concrescentes entre si, formam um ciclo único.

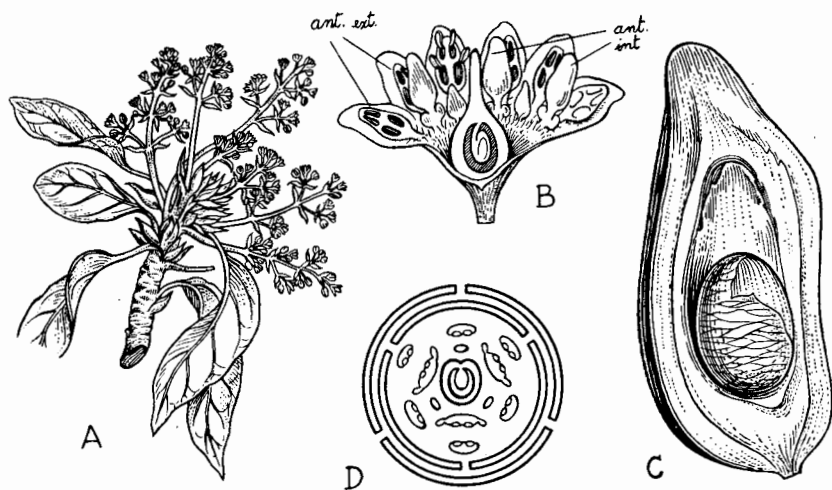



Fig. 248
Lauraceae. Persea gratissima (abacateiro); *A*, brôto com flores; *B*, flor em corte longitudinal; *C*, fruto em corte longitudinal; *D*, diagrama; *ant. ext.*, os dois ciclos exteriores de estames, cujas anteras se abrem para o interior da flor; *ant. int.*, o ciclo interior de estames, cujas anteras se abrem para o exterior da flor. Seg. Martius, Flora Bras. e Baillon.

O parentesco das *Polycarpicae* com as *Monocotyledoneae* (*Helobiae*) evidencia-se pela freqüente trimeria das flores. A família das *Lauraceae* possui dois verticilos trímeros do perianto, quatro verticilos de estames — dos quais o último pode ser involuído — e um só ovário unicarpelar e uniovulado. Característica é a abertura das anteras por *valvas* que se abrem para o interior da flor nos dois verticilos exteriores, ao passo que a abertura do ciclo interior se dá para fora. Tudo isso pode fàcilmente ser estudado no abacateiro (fig. 248).

Trímeras são também as flores singulares das *Aristolochiaceae* (mil homens), cuja posição sistemática é discutida, mas que, provàvelmente, ficam perto das *Polycarpicae*. Essas flores possuem um perianto simples e concrescido, formando um tubo ou saco recurvo que serve de arma-

dilha. Anteras e estigmas concrescem formando um "*gynostemio*". Os insetos, geralmente môscas, atraídos pelo cheiro de carne podre, entram no tubo por um canal estreito. Se o inseto já estêve antes em outra flor, está carregado de pólen, deixando-o aqui, nos estígmas. As flores são *protóginas,* quer dizer, sua parte feminina amadurece primeiro (vide pág. 223). Uma vez polinizado o *gineceu,* a corola começa a murchar, emurchecimento êsse que se inicia com o desaparecimento dos *pêlos do canal.* A saída está livre e, neste ínterim, as anteras também desabrocharam, deixando sair o pólen cujos grãos aderem à môsca e que por esta, podem ser transportados a outra flor da mesma espécie, em desabrochamento.

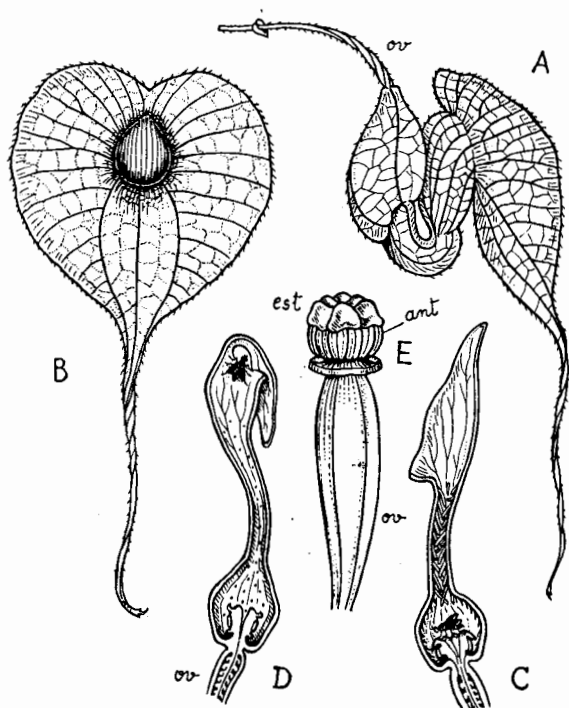



Fig. 249
Aristolochiaceae. Aristolochia (Mil homens, papo de peru); *A* e *B,* flor de *A,* grandiflora, de frente e de lado; *C* e *D,* flores cortadas de *A. Clematitis,* antes e depois da polinização; *E,* ovário e ginostêmio da mesma espécie; *ant,* anteras, *est,* estigmas, *ov,* ovário. Seg. Bot. Magazine, Sachs e Eichler.

Outro grupo que pode ser ligado às *Polycarpicae* é a ordem das *Rosiflorae* com a família das *Rosaceae.* A flor do morango (*Fragaria*) é do tipo policárpico, possuindo, na extremidade do eixo floral, muitos ovários unicarpelares (o fruto é um pseudofruto formado pela intumescência do eixo floral que passa a ser a polpa; esta separa os frutinhos parciais que aparecem como grãos escuros disseminados sôbre o

morango). Na rosa (*Rosa*), o eixo floral não se prolonga mais para fora, formando, pelo contrário, uma concavidade onde estão inseridos os diversos ovários. A rosa também forma pseudofrutos; a polpa é aí formada pelo receptáculo ôco da base floral (fig. 250).

Os pêssegos, os damascos, as cerejas e as ameixas européias pertencem ao gênero *Prunus*, ou a um próximo, cujos frutos possuem um só ovário no receptáculo côncavo. Os pseudofrutos das pereiras, macieiras e do marmelo, mencionados à pág. 228 (fig. 231) possuem, no entanto, 4 e até 5 ovários que concrescem parcialmente entre si e com o receptáculo.

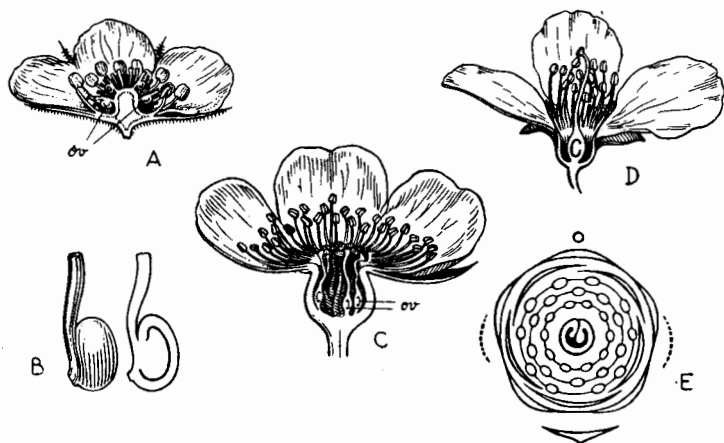



Fig. 250

Rosaceae. A, Morango (*Fragaria vesca*), flor, cortada; *B*, ovários isolados de morango, intato e cortado; *C*, flor de rosa, cortada; *D*, flor de amêndoa (*Prunus Amygdalus*), cortada; *E*, Diagrama de *Prunus*; *ov.*, ovários. Seg. Warming, Baillon e Eichler.

A família das *Leguminosae* possui flores cuja organização lembra as de *Prunus*. Porém o único ovário é geralmente pluriovulado, com desenvolvimento do *legume,* como a Botânica denomina os frutos compridos das favas do feijão, da ervilha, etc., frutos êsses que deram a todo o grupo a sua denominação.

Na subfamília das Mimosas (*Mimoseae*), as corolas das flores são pouco vistosas; são os filetes dos estames que atraem a atenção às inflorescências. Temos aí a "sensitiva" (*Mimosa pudica,* fig. 251), os ingás, etc.

A subfamília das *Caesalpinioideae* tem flores vistosas, muitas vêzes *zigomorfas,* inicialmente com 10 estames, dos quais porém certo número pode involuir. As nossas cássias (*Alleluias* e *Fedegosos*) mostram di e mesmo trimorfismo dos estames. Em *Cassia appendiculata* (fig. 252) os 3 grandes estames inferiores servem de apoio aos insetos e empoeiram os seus abdomes com grãos polínicos. O pólen dos outros 4

ainda férteis serve de alimento aos insetos e os três restantes são rudimentares.

Mais acentuado ainda é o *zigomorfismo* das flores na subfamília das *Papilionatae*. Papílio significa borboleta e, na verdade, uma flor de feijão (*Phaseolus*) ou de ervilha (*Pisum*) lembra um pouco tais insetos (fig. 253). As pétalas inferiores concrescem para formar uma quilha (*carina*). As superiores laterais formam as *alas*, articuladas com

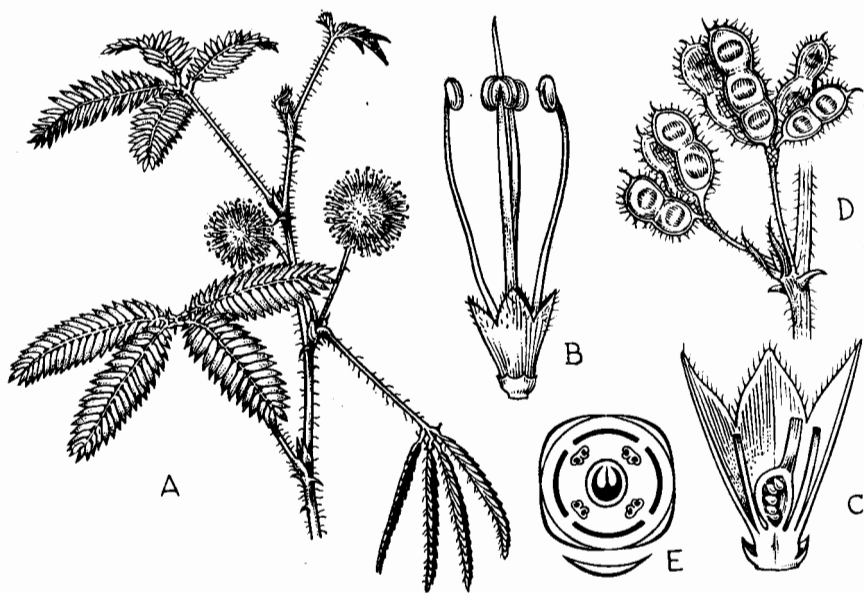



Fig. 251
Leguminosae Mimoseae. A, Mimosa pudica (Sensitiva), ramo com inflorescência; *B* e *C*, flor de *Mimosa Velloziana*, inteira e cortada; *D*, frutos da mesma planta; *E*, diagrama de M. pudica. Seg. Pringsheim, Martius, Flora Bras. e Baillon.

a *carina* e servindo de ponto de apoio aos insetos. Dentro da *carina* ficam localizados os 10 estames, 9 dos quais — no caso da ervilha — concrescem para formar um tubo onde se encontra o mel ou néctar. O único estame livre serve de tampa a êste tubo. A pétala superior, mediana é denominada *estandarte* ou *vexillum* e torna a flor vistosa. Quando um inseto pousa nas alas, o seu pêso provoca o abaixamento da carina; os estames ali contidos saem, deixando o pólen no abdome do inseto. Como o estigma se encontra no mesmo local, o inseto visitando outra flor deixa o pólen aí. As flores são protândricas; quando os estigmas recebem o pólen, as anteras da própria flor já estão vazias.

Também a ordem das *Myrtales* começa com flores do tipo das *Polycarpicae*. A murta (*Myrtus* — fig. 254) possui um grande número de estames e um ovário tricarpelar. Encontramos o mesmo tipo de flor, mas com um número variado de carpelos, em outras *Myrtaceae,* como os eucaliptos (*Eucalyptus*), a goiaba (*Psidium guayava*), a jaboticaba

(*Myrciaria Jaboticaba*), o araçá, a pitanga e muitas outras. Tanto a romã (*Punica granatum* — da família das *Punicaceae*) como também o mangue (*Rhizophora mangle* — da família das *Rhizophoraceae* — fig. 237, pág. 232) pertencem às Myrtales. Merece menção especial no

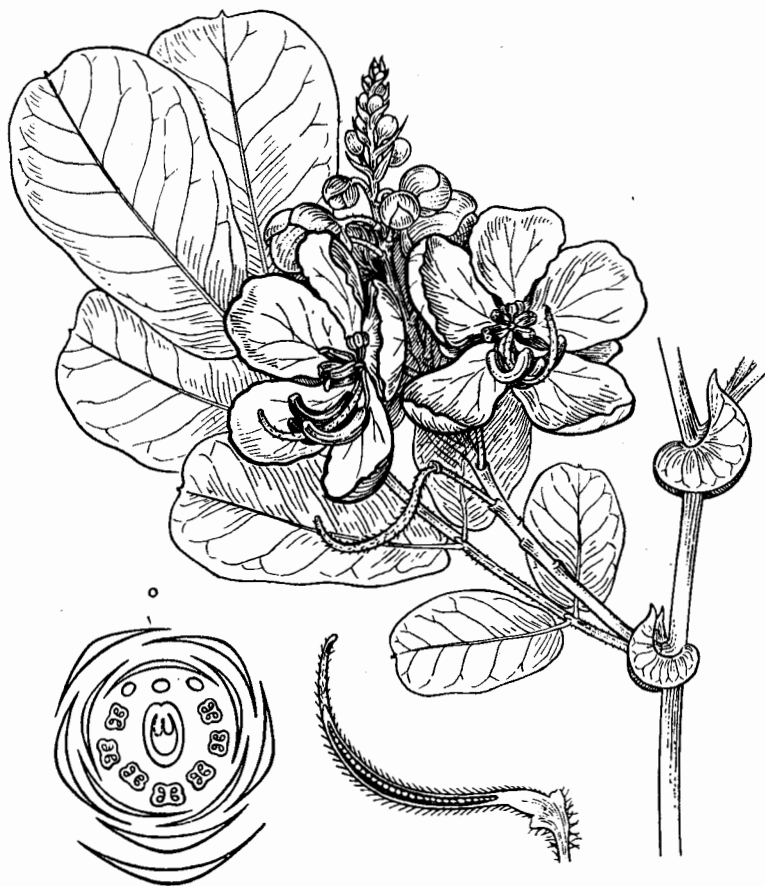



Fig. 252
Leguminosae Caesalpinioideae. Cassia appendiculata (*Alleluia*), ramo com inflorescência, ovário cortado e diagrama de *Cassia floribunda*. Seg. Martius, Flora Bras. e Baillon.

Brasil a família das *Melastomaceae*, representada pelas vistosas quaresmeiras (*Tibouchina*). Esta família é caracterizada pelos estames singulares, geralmente em número de 10, e que se abrem por poros terminais (fig. 254, D). Em todo o grupo das *Myrtales* existe a tendência de o ovário mergulhar no receptáculo ôco da flor com o qual pode concrescer, conduzindo isso à *epiginia*, segundo o esquema da fig. 227 (pág. 225).

Também a ordem das *Rhoeadales* — isto é, da papoula (*Papaver Rhoeas*) — começa com flores com muitos estames e ovários pluricar-

pelares, no caso da família das *Papaveraceae*. Nas outras famílias logo se faz sentir uma redução do número para *tetrameria*. A organização da flor das *Cruciferae* (fig. 255) mostra cálice e corola quadrifoliares, em forma de cruz, e os estames são dispostos em dois verticilos: o exterior, com dois estames menores e o interior, com 4 maiores. Êstes 4, provàvelmente, tiveram origem também de dois, por desdobramento, sendo certas vêzes os dois filêtes ainda concrescidos, como mostra a fig. 255, B.

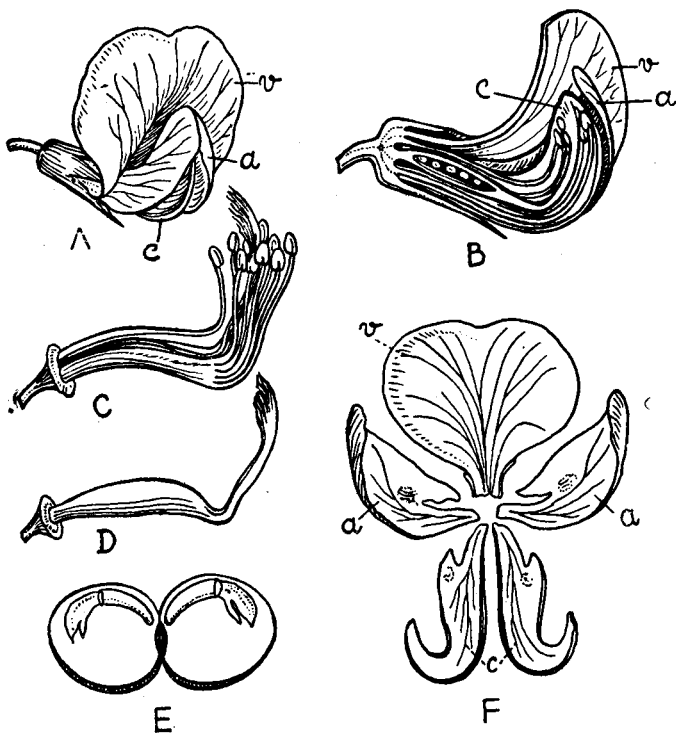



Fig. 253
Leguminosae Papilionatae. Ervilha (*Pisum sativum*) *A*, flor inteira; B, flor cortada longitudinalmente; *C*, anteras e ovário; *D*, ovário isolado; *E*, semente cortada, mostrando o embrião, dividido longitudinalmente; *F*, pétalas; *v*, *vexillum*; *a*, *alas*; *c*, *carina*, formada pelas 2 pétalas inferiores. Seg. Baillon.

A ordem das *Columniferae* inicia-se também com o mesmo tipo de flor, mas estas se desenvolvem no sentido de concrescimento dos muitos estames que formam então uma coluna ao redor dos estiletes (fig. 256). Esta é a organização da flor encontrada na família das *Malvaceae* onde os hibiscos (*Hibiscus*) e o algodão (*Gossypium herbaceum*) são incluídos. As paineiras, como a nossa paineira branca (*Chorisia speciosa*), também formam muitas vêzes flocos de algodão em redor das sementes, mas êstes gêneros arbóreos formam uma família à parte, a das *Bombacaceae*. Também a família do cacau (*Theobroma Cacao*), as *Sterculiaceae*, aqui são incluídas.

O concrescimento dos estames também é freqüente na ordem das *Terebinthales,* onde mencionamos a família das *Rutaceae,* (fig. 257) representada pela arruda (*Ruta graveolens*), e os limoeiros e as laranjeiras do gênero *Citrus.* As plantas cultivadas do último gênero aumentam o número de estames e de carpelos que, no limão e nas laranjas, podem ser numerosos. Raramente falta um grande disco por baixo do ovário, órgão excretor do mel. Êste grupo é caracterizado pelas glândulas que as fôlhas, flores e frutos possuem, glândulas essas produtoras de essências aromáticas.

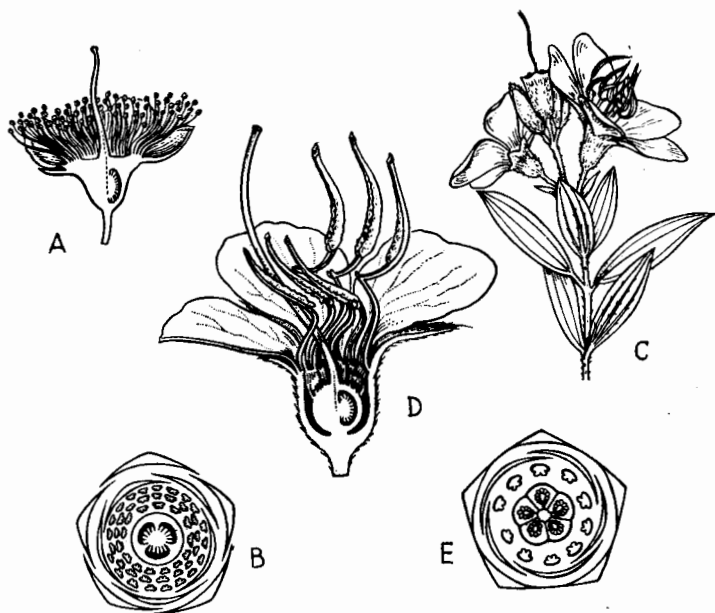



Fig. 254
Myrtales. A, flor cortada da murta (*Myrtus communis*); *B,* diagrama da mesma flor; *C,* Tibouchina Riedeliana, broto com flores; *D, Melastoma malabaricum,* flor cortada; *E,* diagrama de Tibouchina. Seg. Baillon, Martius, Flora Bras. e Wettstein.

Mencionamos finalmente a família das *Passifloraceae,* de posição sistemática duvidosa mas, sem dúvida, afim à do nosso mamão (*Carica Papaya* — família das *Caricaceae*) e à das begônias (*Begoniaceae*).

As passifloras ou maracujás possuem, além das 5 sépalas e 5 pétalas, uma coroa formada pelo desdobramento da corola, desdobramento êsse que produz vários ciclos de filamentos coloridos e vistosos. Os 5 estames e o ovário tricarpelar estão reunidos num pedúnculo comum (*Gynandrophoro* (1) que os eleva para o exterior da cova formada pela base floral. Esta pode ser encontrada cheia de néctar. Um diafragma em forma de colarinho e que sai da parte superior da base

(1) Do grego: *gyne* = mulher; *aner* = homem; *phoro* = trazer; orgão que traz as partes femininas e masculinas.

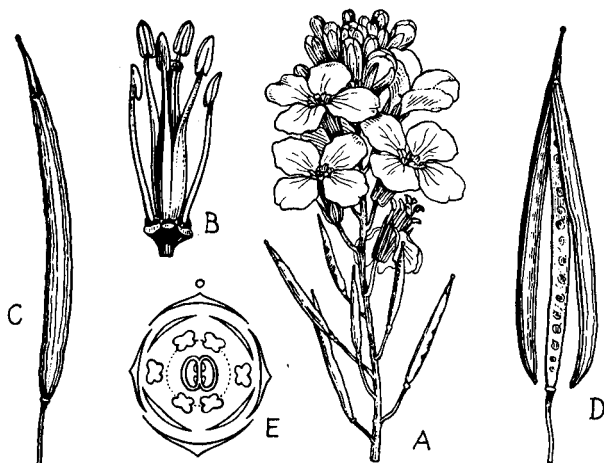



Fig. 255
Cruciferae. Couve (*Brassica oleracea*); *A*, inflorescência; *B*, flor sem periântio; *C*, fruto fechado; *D*, fruto abrindo-se; *E*, diagrama. Seg. Baillon e Noll.

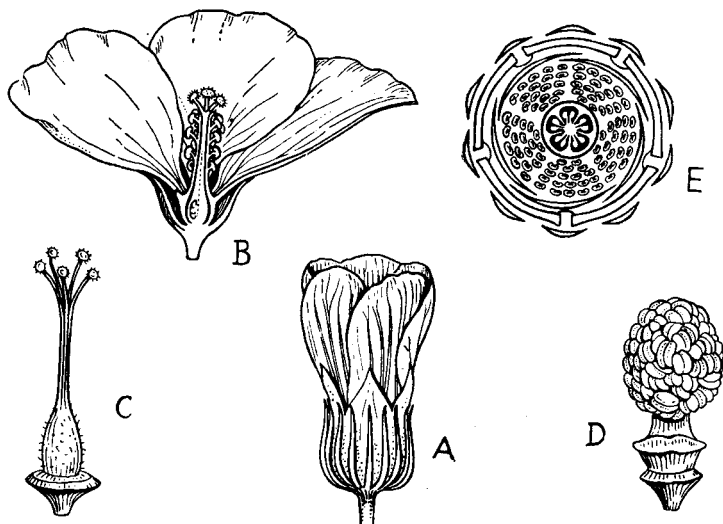



Fig. 256
Malvaceae. A, Hibiscus roseus, flor; *B*, *Hibiscus syriacus*, flor cortada; *C*, gineceu da mesma flor; *D*, flor nova, afastado o periântio, vendo-se a coluna de estames que envolvem o gineceu; *E*, Diagrama de *H. roseus*. Seg. Baillon.

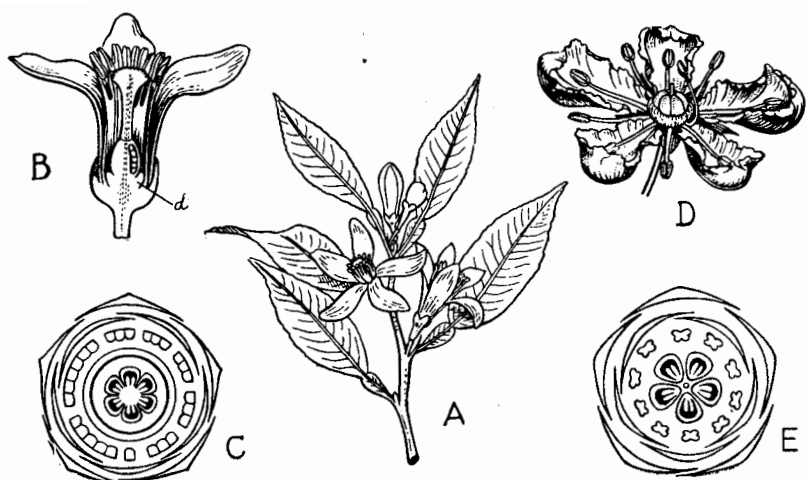



Fig. 257

Rutaceae. *A*, laranjeira (*Citrus aurantium*), ramo com flores; *B*, *C*, flor cortada e diagrama da laranjeira; *D*, *E*, flor e diagrama da arruda (*Ruta graveolens*); *d*, disco. Seg. Baillon, Noll e Eichler.

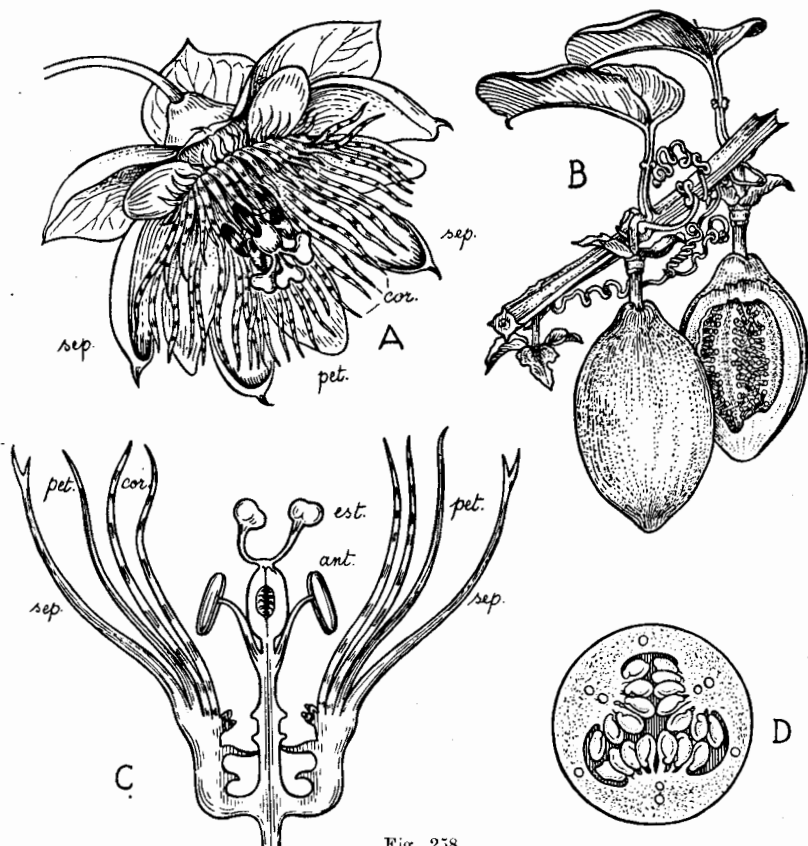



Fig. 258

Passifloraceae. Maracujá (*Passiflora*): *A*, flor inteira de *Passiflora serrata; B*, frutos de *P. alata; C*, corte longitudinal da flor de *P. alata; D*, Fruto de *P. alata*, seção transversal; ***sep***, sépalas; ***pet***, pétalas; *cor*, coroa; ***ant***, anteras; ***est***, estigmas. Seg. Martius, Flora Bras.

floral ou do receptáculo, serve de proteção ao néctar. Tanto esta saliência como também a coroa impedem o acesso à base floral, de insetos não voadores; a polinização só é feita por grandes mamangabas (*Bombidae*) e abelhas (*Euglossae*) que entram por cima, passando entre os estigmas e as anteras.

As passifloras são chamadas de flores da Paixão, sendo os 3 estiletes claviformes comparados aos 3 cravos, as 5 anteras aos 5 estigmas da crucificação e a coroa, à coroa de espinhos.

Apetalae

As plantas que não possuem pétalas vistosas são geralmente *anemófilas* e não dependem da visita de insetos ou de pássaros. Incluímos neste grupo a família da pimenta (*Piper — Piperaceae*), o grupo dos choupos (*Populus*) e do salgueiro (*Salix*), ambos da família das *Salicaceae* (fig. 215, pág. 217). Mas aqui também incluímos plantas de flores vistosas, como o cravo (*Dianthus — Caryophyllaceae*) a "Onze horas" (*Mesembryanthemum — Aizoaceae*) e as cactáceas, com suas flores grandes. Tôdas elas têm no seu parentesco flores inconspícuas, do tipo apétalo, do qual derivam. O mesmo pode ser dito para a família das *Nyctagynaceae*, com a nossa primavera (*Bougainvillia*), (fig. 116) mencionada na pág. 131, por causa de suas brácteas vistosas.

A ordem das *Urticales* possui também flores do tipo apétalo, ordem essa que reúne muitas vêzes flores pequenas em inflorescências freqüentemente comestíveis. Pertencem a êste grupo as urtigas (*Urticaceae*), as amoreiras (*Morus*) e as figueiras (*Ficus*), estas da família das *Moraceae* (fig. 232, pág. 228).

O grupo das *Euphorbiaceae* merece atenção especial, por serem estas muito freqüentes e importantes na vegetação brasileira. As árvores denominadas *urucurana, capixingui* e *sangue de dragão* pertencem ao gênero *Croton* (fig. 259), cujas flores masculinas e femininas estão geralmente dispostas no mesmo cacho. As flores femininas compõem-se de um invólucro simples com nectários na base floral e de um ovário composto de 3 carpelos munidos de 3 estigmas muitas vêzes bipartidos. Quando maduros, os 3 carpelos são separados por 3 sulcos profundos. O fruto aparece como composto de 3 glóbulos (*coccus*), feitio êste característico a tôda a ordem respectiva (*Tricoccae*). Do mesmo tipo são as flores da mamona (*Ricinus*), do tungue (*Aleurites*) e da mandioca (*Manihot*), bem como das seringueiras (*Hevea*) e outras.

O gênero *Euphorbia* mostra uma transformação muito singular; o que nos parece uma flor é, na verdade, uma inflorescência denominada "*cyathium*" (1). No seu interior, encontra-se uma flor feminina rodeada de várias flores masculinas. O invólucro é formado de 5 brácteas concrescidas entre as quais podem ser encontradas glândulas circulares, elípticas ou em forma de meia lua (fig. 260), em número de 5, 4 ou 1, como

(1) Do grego: *kyathos* = xícara ou copo.

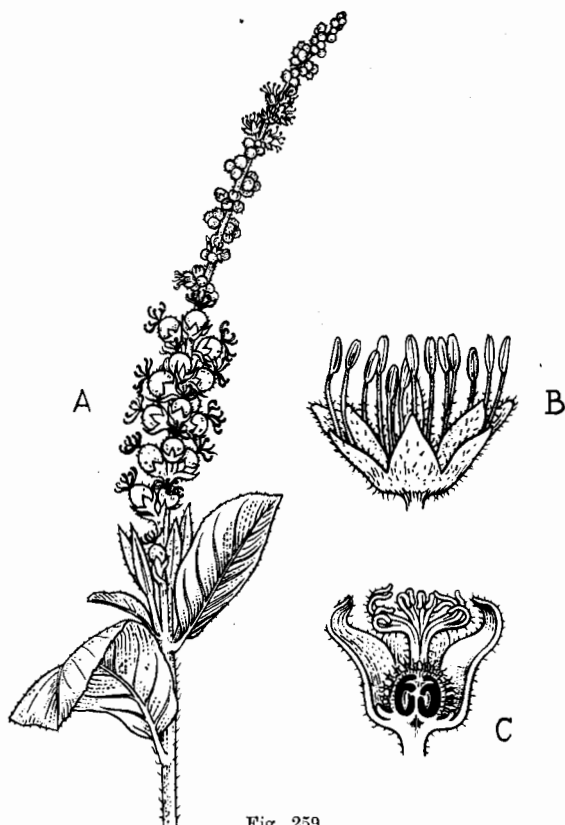



Fig. 259
Euphorbiaceae. *A*, inflorescência de *Croton Pohlianus*, na parte basal flores femininas na apical do cacho flores masculinas; *B* e *C*, flor masculina e feminina de *C. floribundus* (Capixingui). Seg. Martius, Flora Bras.

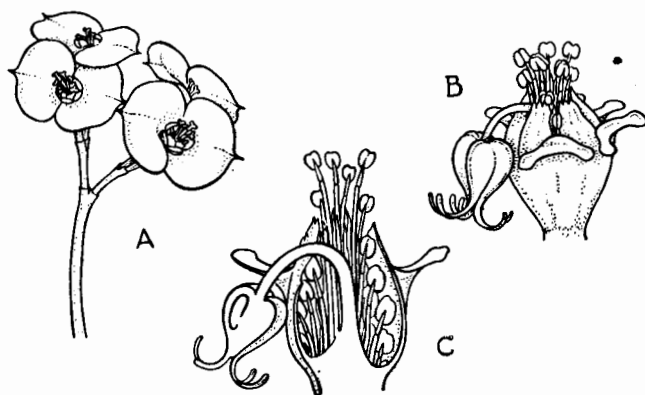



Fig. 260
Euphorbia. *A*, coroa de Cristo (*E. splendens*), inflorescência composta de 4 « cyathios », cada dêles munido de duas brácteas vistosas, vermelhas; *B* e *C* « cyathio » de *E. Lathyris*, inteiro e cortado. *B* e *C*, seg. Baillon, *A*, original.

na flor de papagaio (fig. 115, pág. 131). Tanto a flor feminina no centro do ciátio como as masculinas são nuas. Ambas são pedunculadas; as flores masculinas são constituídas de apenas uma antera, sendo que a separação entre o pedúnculo floral e o filete é marcada por um estrangulamento. Na coroa de Cristo (*Euphorbia splendens*), cada ciátio está envolvido por duas grandes brácteas vermelhas, de um vermelho muito vivo. As eufórbias deixam de ser anemófilas; dependem de insetos que são atraídos não por pétalas, mas sim pelas brácteas vistosas e pelas glândulas nectaríferas formadas entre elas.

Sympetalae

Como protótipo de flor simpétala, citamos as nossas já mencionadas "campânulas" (fig. 224), da família das *Convulvulaceae*. Na fig. 261 apresentamos a flor da *Primula* (*Primulaceae*), que, além de possuir corola concrescida, tìpicamente simpétala, apresenta um fenômeno interessante: a *Heterostilia* (1). Existem aqui flores de dois tipos: um de flor com estilete longo (*longistyla*) e outro, com estilete curto (*brevistyla*). As de estilete longo têm as anteras inseridas mais abaixo no tubo corolar, à mesma altura onde as flores de estilete curto têm o estigma. Nestas últimas, a inserção das anteras fica na altura do estigma da flor de estilete longo. Só insetos com tromba comprida alcançam o néctar no fundo da flor. A parte abdominal de seu corpo que se carrega do pólen da flor brevistila, deixa êste pólen no estigma da flor longistila. De seu lado, o pólen desta última flor adere ao tórax do inseto, quer dizer, à parte que entrará em contato com o estigma curto. Também os grãos polínicos têm tamanho diferente: são maiores na forma brevistila e menores na longistila. Nesta última os espaços entre as papilas glandulares do estigma (E) são maiores, adaptados para receber o pólen (p) da forma brevistila, ao passo que os espaços da forma brevistila correspondem ao tamanho do pólen da forma longistila.

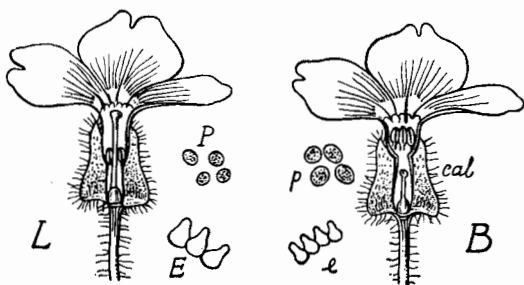



Fig. 261
Primula sinensis (*Primulaceae*), flores cortadas longitudinalmente; *B*, de estilete curto (forma brevistila), as anteras inseridas em cima; *L*, de estilete longo (forma longistila), as anteras inseridas na altura do estilete em *B*; *cal*, o cálice amplo; *P* e *p*, pólen das duas formas; *E* e *e*, papilas glandulares das duas formas. Seg. Noll.

Esta ordem das *Primulales* pertence a um grupo de ordens que geralmente possuem 5 ciclos florais, sendo por isso chamadas de *Pentacyclicae;* em geral, existem aí dois verticilos de estames. No caso da *Pri-*

(1) *Heterostylia*, do grego: *heteros* = diferente; *stylos* = estilete.

mula, o verticilo exterior foi suprimido, ficando sòmente o interior. Em todo êste grande grupo, prevalece o número de cinco carpelos.

Caracteriza o outro grupo, o das *Tetracyclicae* um só ciclo de estames e um ovário composto, em geral, de dois carpelos. A êste grupo pertencem as *Convulvulaceae* (fig 224, pág. 223) que possuem flores radiais. Esboça-se um *zigomorfismo* nas flores das *Solanaceae,* família da batata inglêsa (*Solanum*), do tomate (*Lycopersicum*), da "saia branca" (*Datura*) e do fumo (*Nicotiana*). Nìtidamente zigomorfas são as flores das *Labiatae* que têm a corola dividida em duas partes, uma superior e

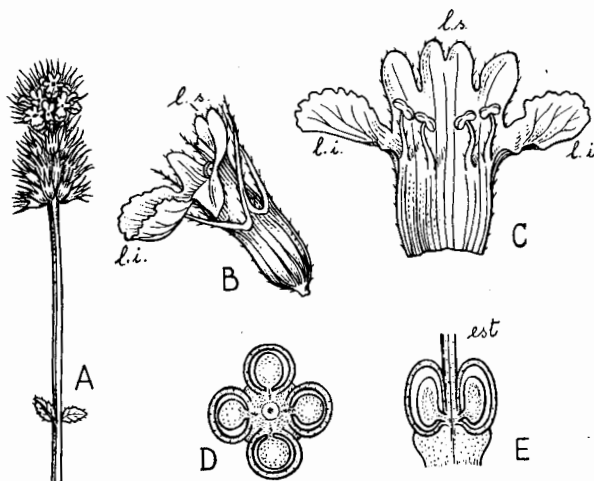



Fig. 262
Labiatae. Hyptis virgata. A, inflorescência; *B,* flor isolada; *C,* corola aberta mostrando os 4 estames inseridos no tubo corolar; *D* e *E,* ovário cortado transversal e longitudinalmente; *l.s.,* lábio superior; *l.i.* lábio inferior; *est,* base do estilete. Seg. Martius, Flora Bras.

uma inferior (fig. 262) — e as das *Bignoniaceae* a cujo grupo pertencem Flor-de-São-João (*Pyrostegia*) e os nossos ipês dos gêneros *Tecoma, Tabebúia* e *Jacaranda.* Nestas flores, geralmente o quinto estame — o dorsal — involui. Estas famílias se distinguem especialmente pelo feitio dos frutos; nas *Bignoniaceae* assemelham-se exteriormente aos legumes das leguminosas, sendo porém bicarpelares, com sementes muito numerosas que, em regra geral, têm asas (fig. 263). As *Labiatae* formam 4 sementes, duas em cada loja do ovário, porém estas lojas logo se bipartem, originando-se assim um fruto constituído por 4 frutos parciais, comparados a pequenas nozes (*Nuculus*), feitio êste que deu à ordem respectiva a denominação de *Nuculiferae.*

As flores das *Asclepiadaceae,* cujo representante mais comum é a *erva-de-rato* (*Asclepias curassavica* fig. 264), mostram um desenvolvimento muito singular. As flores são radiais. Da base floral eleva-se um ovário bicarpelar com os carpelos ligeiramente separados. Os dois estigmas concrescem na parte superior formando uma cabeça claviforme. Os

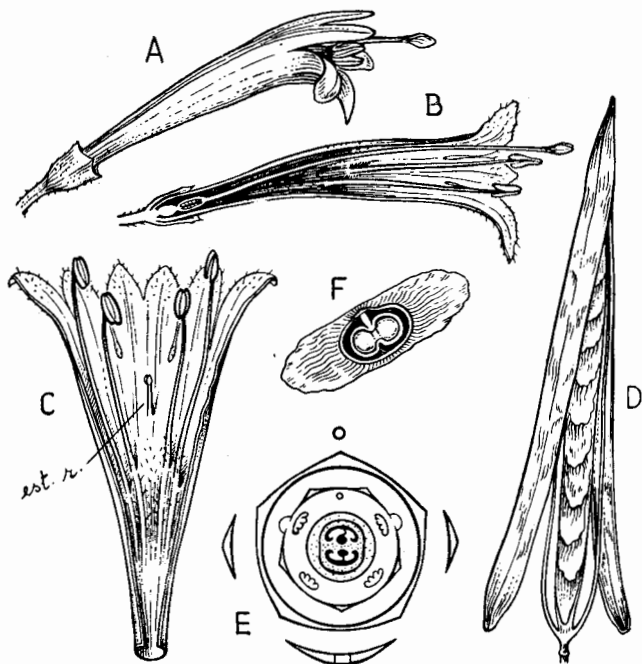



Fig. 263

Bignoniaceae. Flor-de-São-João (*Pyrostegia venusta*). *A*, flor inteira; *B*, flor cortada; *C*, corola aberta, deixando ver a inserção dos estames; *est. r.*, estame rudimentar; *D*, fruto abrindo-se; *E*, diagrama; *F*, semente alada, cortada. Seg. Martius, Flora Bras.

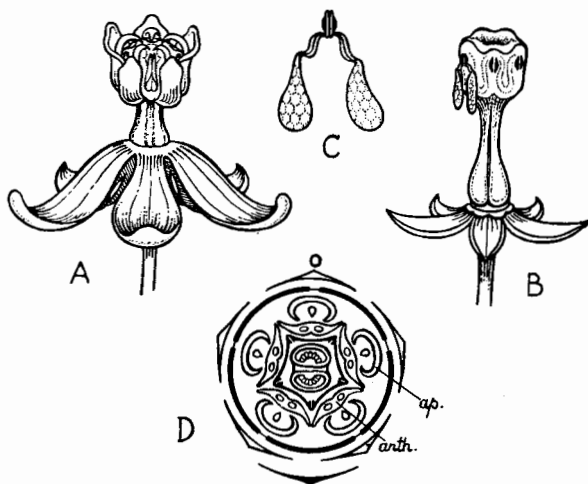



Fig. 264

Asclepias curassavica. (*Asclepiadaceae*) (Erva-de-rato). *A*, *flor* inteira; *B*, flor após afastamento da corola e do tubo estaminal, tendo persistido só um par de polínios; *C*, um par de polínios; *D*, diagrama; *anth*, anteras; *ap*. apêndices dos estames. Seg. Baillon e Eichler.

5 filêtes também concrescem para formar um cilindro em redor dos ovários e dos estigmas. Muitas vêzes êste cilindro forma apêndices, no caso da *erva-de-rato* 5, que constituem como que uma flor dentro da flor. As anteras concrescem com o estigma. Os grãos polínicos — como no caso das *Orchidaceae* — ficam unidos em cada loja, formando polínios. Dêstes saem prolongamentos que se fixam a pequenas excrescências — em número de 5 — já preformadas no estigma. Os insetos que pousam no estigma apóiam-se nestas excrescências e, ao alçarem vôo, levam-nas consigo, com dois polínios aderentes, polínios êsses que são depositados no estigma de outra flor. Os dois polínios reunidos provêm de duas anteras vizinhas (cada estame dá o seu polínio direito a uma das excrescências vizinhas e o esquerdo a outra).

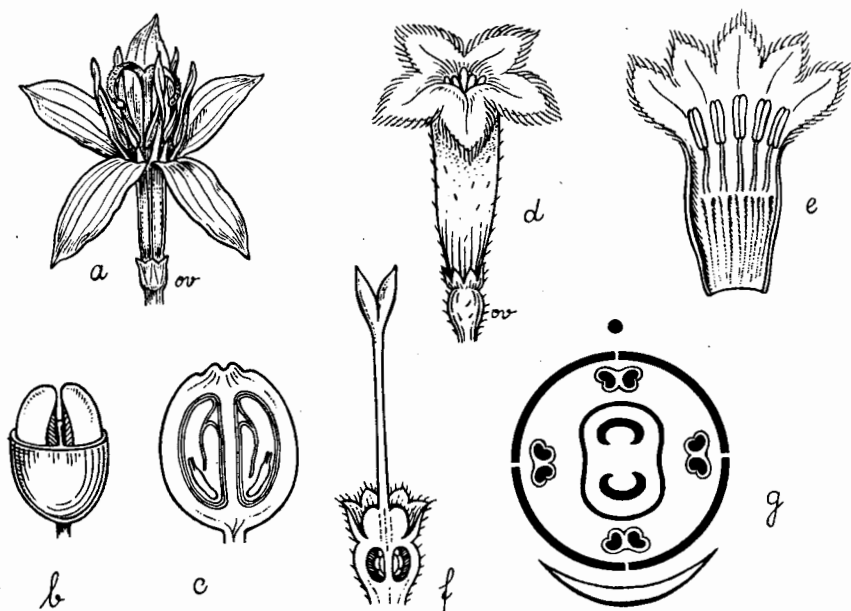



Fig. 265
Rubiaceae. a, Coffea, flor; *b,* fruto de Coffea aberto parcialmente deixando ver as duas sementes; *c,* fruto em corte longitudinal, vendo-se o embrião em cada semente; *d,* flor de *Cinchona; e,* corola da mesma, aberta; *f,* ovário da mesma, cortado, com estilete e estigmas; *g,* diagrama de Rubia. Seg. Wettstein, Meyer e Schumann, Baillon, e Martius, Flora Bras.

Os grupos até agora mencionados têm ovário súpero; ovário ínfero caracteriza outras famílias, entre as quais apresentamos, em primeiro lugar, as *Rubiaceae* — a família do café (*Coffea arabica*). As flores desta família são tetra ou pentâmeras e os ovários biloculares, com uma semente em cada lóculo, como no café, ou com muitas, como na Cinchona, planta andina produtora do quinino (fig. 265).

As abóboras e os pepinos formam outro grupo — a família das *Cucurbitaceae,* também com flores hipóginas mas, desta vez, geralmente

dióicas. A fig. 266 mostra as flores masculinas e femininas da abóbora (*Cucurbita Pepo*). Dos 5 estames, dois pares concrescem de maneira singular e o quinto continua livre. Os ovários são triloculares e, na maturação, todos os lóculos se enchem de muita polpa, apresentando então o conhecido corte dos pepinos, das abóboras e das melancias.

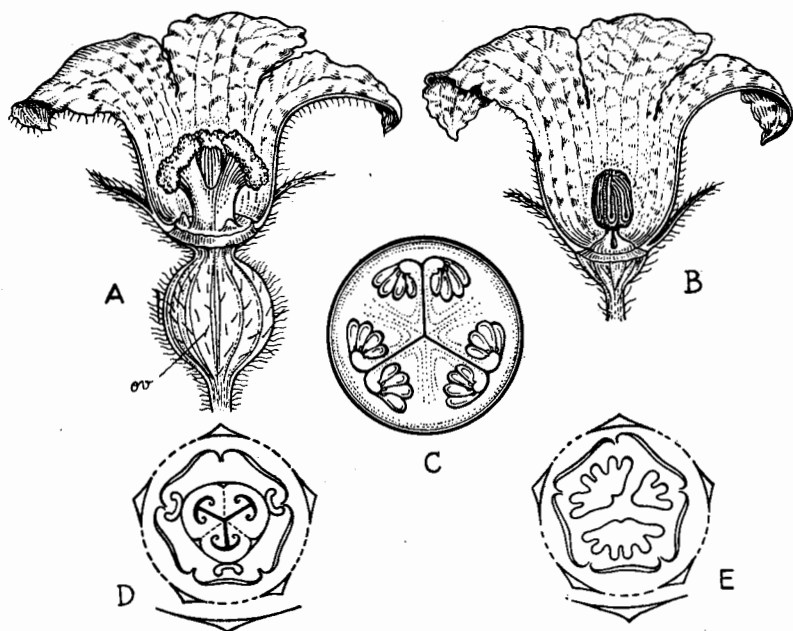



Fig. 266
Cucurbitaceae. Abóbora (*Cucurbita Pepo*): *A*, flor feminina, cortada; *B*, flor masculina, cortada; *C*, fruto cortado transversalmente; *D*, diagrama de flor feminina e *E*, de flor masculina, de *Ecballium; ov*, ovário. Seg. Baillon e Warming.

Terminamos (1) nossa apresentação com a família das *Compostas* (*Compositae*) assim denominada pela composição das flores em capítulos. Existe muitas vêzes dimorfismo das flores. As interiores do capítulo são actinomorfas, possuindo uma corola pentâmera, em forma de tubo. As exteriores abrem o tubo que toma a forma de língua (flores "liguladas"). Tôdas estas flores exteriores parecem então como se fôssem uma corola do capítulo. Existem grupos onde tôdas as flores são do tipo das aqui descritas como interiores, (*Tubuliflorae*) e outras (*Liguliflorae*) onde tôdas as flores são liguladas.

O ovário ínfero é uniovulado, sendo porém formado de dois carpelos que concrescem, sendo o fruto chamado de aquênio. O cálice muitas vêzes é transformado em uma coroa de cerdas que permanecem no fruto, formando o "pappus" que, na disseminação, serve de pára-quedas ao aquênio.

(1) Uma apresentação mais detalhada de sistemática encontra-se em A. Schultz: « Introdução ao Estudo da Botânica Sistemática », Pôrto Alegre, 1939.

As 5 anteras dos estames concrescem e formam um tubo em redor do estigma, abrindo-se para o interior. No momento da abertura, o estilete ainda não passou por êste canal. Os dois estigmas estão ainda aderidos um ao outro e o lado exterior de seus ramos — muitas vêzes munido de pêlos — leva o pólen para o exterior. Os insetos que pousam e passeiam sôbre todo o capítulo empoeiram-se com êsse pólen. Nas flores mais velhas os estigmas separam-se e o seu lado interior pode agora ser polinizado. O girassol (*Helianthus*), as dálias (*Dahlia*), os crisântemos (*Chrysanthemum*), a alcachôfra (*Cynara*) e a carqueja (*Baccharis*, fig. 124) pertencem a êste grupo, como ainda muitas outras espécies. A maioria delas são ervas, existindo também no Brasil formas arbóreas.

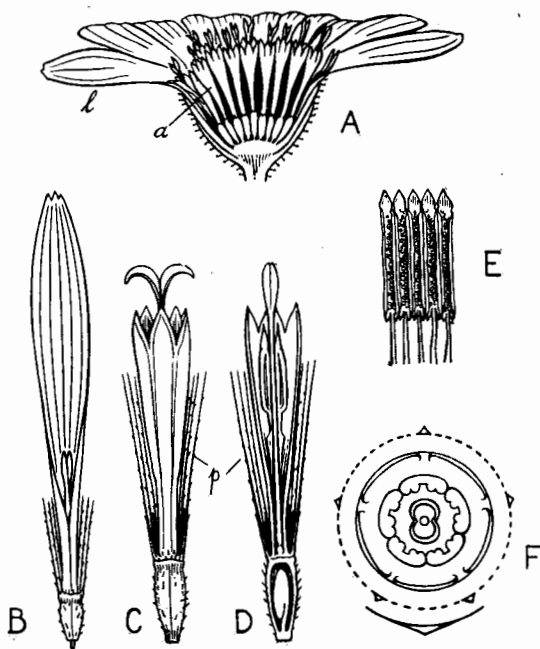



Fig. 267

Compositae, Astereae. A, capítulo; *B*, flor ligulada; *C* e *D*, flor actinomorfa, inteira e cortada, (em *D*, estigmas ainda fechados, em *C*, já abertos); *E*, tubo formado pelas anteras, aberto mostrando a deiscência para o interior; *F*, diagrama; *a*, flor actinomorfa; *l*, flor ligulada; *p*, pappus.

Capítulo VI

FITOGEOGRAFIA

A fitogeografia trata da distribuição das plantas sôbre a superfície da terra. Cada região é caracterizada pelo aspecto e pela composição de sua vegetação. Podemos reconhecer traços que são comuns, e outros que distinguem as diferentes regiões. Assim, tanto a região da Amazônia como as selvas quente-húmidas da África, da Índia e da Oceânia possuem florestas higrofíticas exuberantes, de aspecto ou de *"fisionomia"* (1) muito parecida. De forma análoga, assemelham-se fisionômicamente as regiões mais áridas como os pampas da América do Sul e as estepes da África meridional. O mesmo pode ser dito dos desertos de todos os continentes e das tundras arcticas, e assim por diante.

1. FITOGEOGRAFIA HISTÓRICA

Se porém olhássemos mais de perto, poderíamos ver que a *composição florística,* quer dizer, o conjunto das espécies que constituem estas grandes formações de vegetação, é distinta nos diferentes continentes. Existem certas espécies ou gêneros, ou mesmo famílias, que são específicas para certas regiões, países ou continentes, faltando em todos os outros. Para mencionar um só caso, apresentamos na fig. 268 a distribuição geográfica ou área ocupada pelo nosso pinheiro (*Araucaria brasiliana*). O pinheiro é endêmico (2) isto é, existe exclusivamente na área indicada, onde ocupa as regiões montanhosas. Os outros representantes recentes do gênero são encontrados todos em outras partes do hemisfério Sul. Na América Meridional existe só mais uma espécie — a *Araucaria araucana* (nome êste proveniente — como também o do gênero — da estirpe indígena dos *Araucanos*) que se encontra no Chile e na Argentina, árvore esta também endêmica nestas regiões. Assim como as espécies, também os gêneros e as famílias podem ser endêmicos para certas zonas. Citamos como exclusivas para a América (Meridional e Central) as famílias das *Cactaceas* e das *Bromeliaceas.*

O fato que a composição florística da vegetação de certos continentes difere tão incisivamente da de outros, é explicado pela história do desenvolvimento atribuída às diferentes partes da crosta terrestre. A

---

(1) *Physiognomia,* do grego: *Physis* = natureza; *gnomon* = aspecto.

(2) Do grego: *en* = dentro; *demos* = nação, país. Epidêmico, em oposição a palavra endêmico, foi introduzida para doenças que se propagam sôbre várias nações.

geologia e a paleontologia nos provam que o continente Sul-Americano ficou separado dos outros desde a época mesozóica, desenvolvendo, por isso, flora e fauna especiais. Os continentes Eurasiático e Norte-Americano devem ter estado em ligação mais íntima até o terciário; podiam então desenvolver a sua vegetação em comum e trocar fàcilmente os seus elementos.

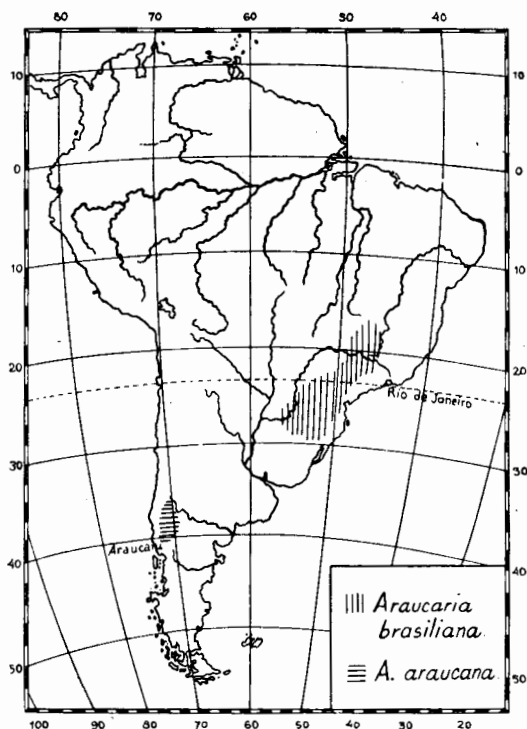
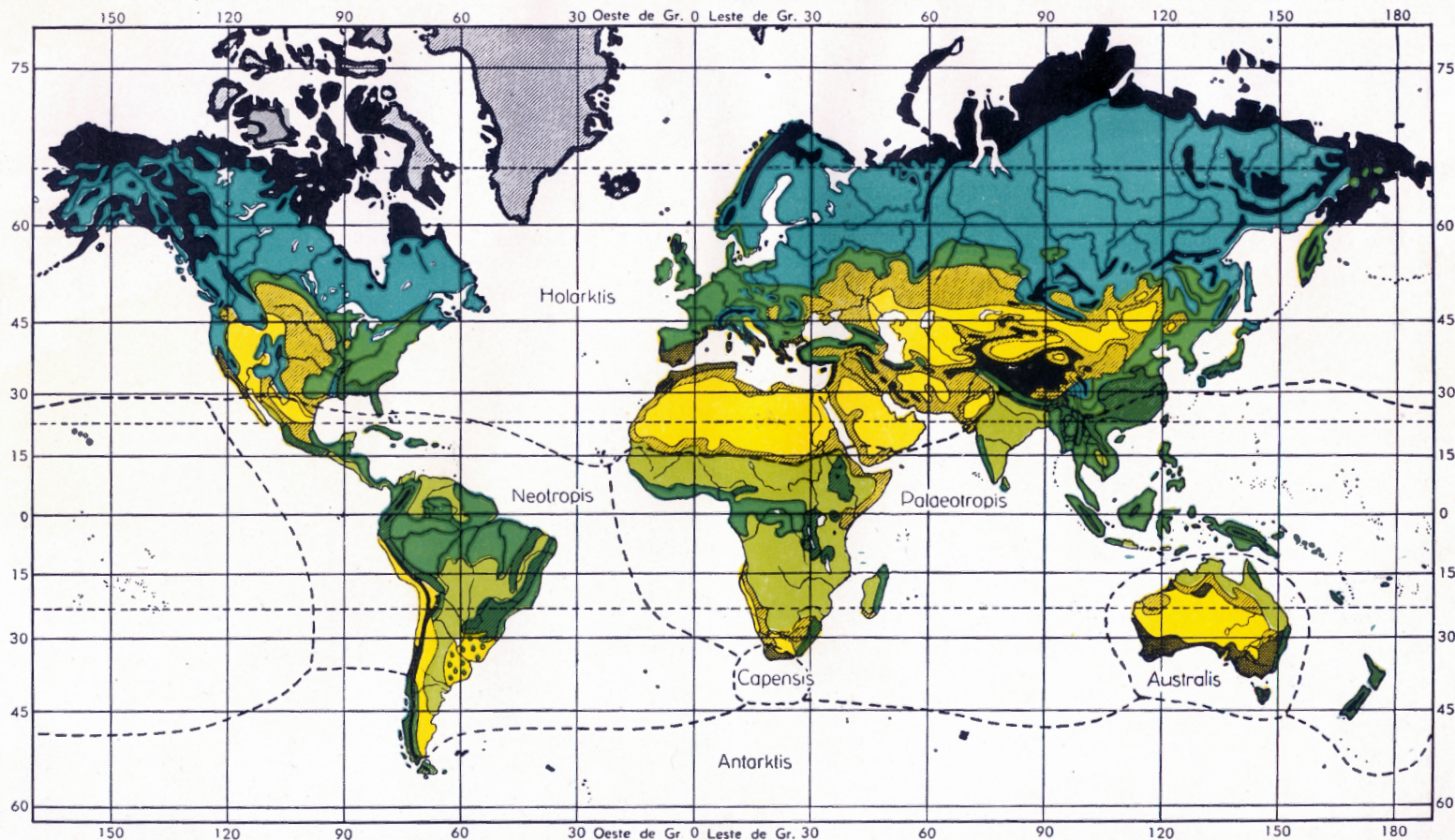



Fig. 268
Área dos dois pinheiros sul-americanos.

Segundo o parentesco florístico das vegetações, a fitogeografia divide a superfície terrestre do nosso planeta em regiões florais diferentes: o imenso reino da *Holarktis* (1) reúne os territórios da América do Norte, da África do Norte, da Europa e da maior parte da Ásia; a região denominada de *Paleotropis* (2) compreende as partes tropicais do velho mundo isto é das Índias, da África e da Oceânia; a *Neotropis* abrange sòmente as Américas Meridional e Central; finalmente, as outras regiões são formadas pelo Cabo da Boa Esperança (*Capensis*), pela Austrália (*Australis*) e Antárctica (*Antarktis*) — (Compare-se no mapa seguinte).

(1) Do grego: *Holos* = inteiro; *arktis* = região ártica, do hemisfério Norte.
(2) Do grego: *Palaeo* = antigo.

VISTA GERAL DA VEGETAÇÃO DA TERRA E DOS LIMITES DAS REGIÕES FLORÍSTICAS

(Seg. Brockmann-Jerosch e Diels, apud Firbas, modificada)

As regiões florísticas são subdivididas em partes menores: as províncias florísticas. Característica para tôdas estas divisões é a maior ou menor coincidência das espécies ou "elementos florais" que compõem a vegetação.

2. FITOGEOGRAFIA ECOLÓGICA

Na distribuição da vegetação, mais importante do que os fatôres históricos são os ecológicos. Entendemos por êstes os fatôres do ambiente, isto é, o clima e o solo. Dêles depende a fisionomia, o aspecto geral da vegetação e o valor dela para os fins de agri- e silvicultura. As influências climáticas são geralmente regionais e as do solo, locais. As considerações desta parte da fitogeografia são de grande importância não só teórica, como também prática, porque os métodos de cultura de plantas dependem largamente das condições ambientes. Por isso, nos tempos modernos, a *fitoecologia,* como também denominamos a esta disciplina da Botânica, entra cada vez mais para o primeiro plano.

A. FATÔRES CLIMÁTICOS

a) *Temperatura*

Estamos, geralmente, inclinados a atribuir à temperatura um papel preponderante na distribuição das vegetações sôbre a superfície da terra. Êste fato porém não deve ser sobrestimado. As temperaturas que encontramos na terra não são geralmente letais (1) para nenhum tipo de vegetação. As temperaturas mais elevadas do ar raramente ultrapassam a 50° C, temperatura essa tolerada pela maioria dos vegetais. As temperaturas mais baixas que encontramos variam em tôrno de — 50° C. Tão intensos frios são suportados por muitas sementes, gemas, botões e por outros tecidos no estado de repouso no inverno; é de salientar que, nas regiões mais frias conhecidas — da Sibéria — ainda existem florestas que resistem a temperaturas invernais tão baixas. O essencial é que tenham alguns meses ou semanas de calor que lhes dêem o aquecimento necessário à floração e à maturação das sementes.

Mau grado isso, na aproximação dos dois pólos, encontramos uma grande transformação de vegetação. As regiões apresentadas em prêto no Mapa constituem as tundras, despidas de árvores e cobertas de uma vegetação rala composta de arbustos anãos, ervas, musgos e liquens. Não é diretamente o fator temperatura que provoca tal pobreza da vegetação e, especialmente, a inexistência de árvores; é o fator água, pois os solos frios permitem pouca absorção de água (sêca fisiológica, vide pág. 54) e os solos congelados, nenhuma. Plantas de superfície grande, especialmente árvores, são expostas aos efeitos secantes dos ventos, sofrendo então diretamente a falta de água e só indiretamente os efeitos

---

(1) *Lethal,* do rio mitológico: *Lethe,* que as almas dos mortos tinham que transpor.

do frio que impede a absorção da humidade. Vemos, por isso, que, no *limite da floresta,* as árvores tornam-se mais baixas, transformando-se em arbustos cada vez mais rasteiros. São finalmente substituídas por outras espécies que sempre vivem como arbustos baixos, adaptados à vida de regiões polares.

Em virtude das temperaturas baixarem não sòmente com a aproximação dos pólos, como também com as elevações das montanhas, conhecemos também um *limite alpino* (1) *das florestas.* A partir dêste limite, observamos o mesmo fenômeno: as árvores são substituídas primeiramente por arbustos e êstes, gradativamente, por arbustos anãos e ervas, musgos e liquens, vegetação esta comparada à de além do limite ártico. Embora não idênticas, as condições são bem paralelas.

Progredindo das tundras em direção ao equador, encontramos primeiro uma cintura de regiões florestadas onde os invernos longos e rígidos impõem à vegetação um repouso prolongado. Árvores com fôlhas delicadas que caracterizam a maioria das *dicotyledoneas* aí só resistem, por deixarem cair as fôlhas ao aproximar-se a estação fria; diminuem assim a superfície evaporante para não sofrer no inverno a falta de água. Porém a maioria das árvores que compõem as florestas perto do limite florestal é sempre verde, formada de *coníferas,* cujas fôlhas aciculares e duras são xerofíticas, e que perdem pouca água durante todo o inverno (Transpiração cuticular, veja págs. 60, 114). A transpiração porém nunca é nula e as fôlhas com as enormes fôrças de sucção mencionadas à pág. 51, eram justamente de *píceas* que não puderam substituir a água transpirada durante todo um inverno. Pelo domínio de árvores coníferas, tôda esta zona mereceu a denominação de *zona das coníferas.* Não devemos porém nos esquecer que muitas *dicotyledoneas* com fôlhas caducas se associam a elas.

Ainda um pouco mais em direção ao equador prevalecem *florestas de fôlhas caducas* que formam uma vegetação tropofítica (veja pág. 62).

As fôlhas delicadas das árvores *dicotyledoneas,* com as suas superfícies grandes, têm uma fotossíntese mais eficiente do que as agulhas xerofíticas das coníferas. De outro lado, o desabrochar das gemas constitui uma perda de tempo valioso. Parece que nas regiões onde os verões são mais longos, as árvores decíduas levam vantagem sôbre as coníferas, fato êste que explica a distribuição geográfica destas duas cinturas florestais.

Progredindo para regiões mais quentes, encontramos vastas zonas áridas de estepes e de desertos; nas latitudes ao redor de 30 a 40° intercalam-se regiões que recebem muito poucas precipitações como vamos ver à pág. 267, aqui faltando florestas, em conseqüência, não da temperatura, mas sim da falta de água. Onde porém existe humidade suficiente à existência de florestas, estas são geralmente sempre verdes porque agora os invernos não são mais temíveis. Contudo as fôlhas podem adotar um feitio xerofítico. São características dêste gênero as *florestas do tipo do loureiro* (*Laurus*) ou de árvores providas de fôlhas ainda

(1) Costumamos chamar as condições de altas montanhas de alpinas, em comparação aos Alpes europeus.

mais duras (*esclerofilos*). Isto constitui uma proteção dupla contra a sêca fisiológica que ainda pode resultar das temperaturas baixas de inverno e contra a sêca física que pode ocorrer na estação quente do ano. Observamos por isso no mapa da pág. 260-a as florestas dêste tipo na vizinhança de regiões mais áridas, como no norte da Califórnia, na Austrália, no Cabo e, especialmente ao redor de todo o mar Mediterrâneo. A existência de florestas mais ou menos esclerofilas nesta última região aumentou sua importância aos olhos dos ecólogos europeus. Na verdade, ocupam espaços relativamente pequenos.

Em regiões quentes onde absolutamente não falta humidade, a floresta decídua cede lugar às florestas sempre verdes, nìtidamente higrofíticas, que não possuem grande proteção contra as sêcas eventuais, e cujas árvores são providas de fôlhas largas e delicadas. Chamamos tais formações de *florestas de chuva* tropicais e subtropicais. Êste tipo mostra seu melhor desenvolvimento no equador onde a distribuição do calor e da humidade é relativamente homogênea durante tôdas as estações do ano. Onde, como lá, a falta de água não é um fator prejudicial, a temperatura favorável produz uma vegetação exuberante: por baixo das copas mais altas das árvores predominantes, eleva-se um segundo andar de árvores mais baixas, às vêzes seguido de outros de árvores gradativamente menores, de arbustos, de ervas rasteiras, etc. Tôda esta abundância de vegetação é aumentada por plantas epifíticas e trepadeiras. — O mesmo tipo de florestas, porém menos exuberante, é encontrado a certa distância do equador ou nas elevações montanhosas onde as condições não são mais tão constantes e favoráveis como no equador. Estas são as florestas de chuva subtropicais e as tropicais montanhosas.

A distribuição das zonas vegetais entre pólo e equador, que acabamos de descrever, é mais nítida no hemisfério Norte do que no Sul. Neste último faltam as zonas das coníferas e das florestas decíduas de clima temperado, e também as tundras têm pouco desenvolvimento. Tudo isto se explica pela falta de massas continentais além de 45° de Latitude (o continente antártico é quase despido de vegetação).

Vegetação de montanhas: Nas elevações das montanhas, encontramos um declínio das temperaturas médias que coloca as grandes altitudes em posição análoga à das regiões polares. As camadas atmosféricas que banham as montanhas são frias.

Tôdas as camadas da parte inferior da atmosfera (troposfera) estão em circulação e em intercâmbio contínuo. Sempre há massas de ar em movimento ascendente e em movimento descendente. Ora, ar que sobe, entra em regiões atmosféricas em que a pressão barométrica é mais baixa; subindo, o ar irá sofrer uma pressão menor e dilatar-se-á — descendo, ao contrário, é comprimido. Ao ser dilatado um gás resfria-se, ao ser comprimido aquece-se. A dilatação que o ar sofre ao subir 100 m de altura, provocaria um abaixamento de temperatura de cêrca de 1° C. Na realidade, êste abaixamento de temperatura é menor, devido à condensação do vapor de água que o ar contém. O ar frio não é capaz de manter dissolvida tanta humidade quanto o ar quente. Na ascensão das massas de ar estas no resfriamento atingem um conteúdo máximo de água (ponto de saturação) a partir do qual o ar não mais pode conter tôda a água que tinha

ao subir: assistimos então à formação de neblina ou de nuvens, fenômenos êsses tão familiares aos que sobem a Serra do Mar, seja do Rio de Janeiro para Petrópolis, seja de Santos para S. Paulo ou de Paranaguá para Curitiba. Condensação de água, por sua vez, é ligada a desprendimento de calor, o que quer dizer que o resfriamento antes explicado é diminuído. Assim, o gradiente de temperatura por 100 m de altitude é geralmente inferior a 1º C, variando entre 0,4º e 0,9º C conforme a humidade do ar.

Entre nós, em média, a temperatura baixa de 0,6º C por 100 m de altura e os planaltos de Petrópolis e de São Paulo têm uma temperatura de 5 ou 6º C mais baixas do que a de Santos ou do Rio de Janeiro. Na ascenção de 1 000 metros de montanhas, encontramos uma diminuição de temperatura equivalente à que encontraríamos, se nos deslocássemos cêrca de 10º de latitude em direção aos pólos.

As regiões mais altas, alpinas ou andinas, podem ser comparadas às regiões polares, ambas cobertas de neves eternas. As zonas de vegetação escassa encontradas sob as neves alpinas assemelham-se às tundras polares. Descendo mais, chegamos ao limite alpino das florestas, limite êsse já mencionado anteriormente. As regiões superiores de florestas, mesmo nos trópicos, compõem-se muitas vêzes de coníferas. Mais abaixo, porém, não se sucedem as florestas decíduas que encontramos nas regiões temperadas do hemisfério Norte.

Não nos devemos esquecer que a analogia entre a seqüência das vegetações montanhosas e da progressão para os pólos não é perfeita. As latitudes altas, próximas dos pólos, distinguem-se essencialmente das latitudes equatoriais, pela grande diferença das estações invernais e estivais nas primeiras, e pela ausência quase completa de alternância nas últimas. As zonas temperadas e frias das montanhas tropicais têm clima temperado ou frio o ano todo. As noites podem ser sempre frias os dias podem ser sempre quentes e em todos os meses podem ocorrer geadas e nevadas.

As plantas polares são adaptadas fisiològicamente à alternância das duas estações, permanecendo em repouso profundo durante todo o inverno e despertando para uma vida rápida e intensiva nos poucos meses de verão. Nestes, os dias são muito longos e as noites muito curtas; a fotossíntese se processa durante 18 a 20 horas do dia (mais ainda quando há sol de meia-noite). Não é de estranhar que as florestas decíduas adaptadas à alternância pronunciada de estações nos climas temperados, faltem nas montanhas equatoriais.

O primeiro a caracterizar a distribuição da vegetação nas montanhas foi *Alexander von Humboldt*. No exemplo do Pico de Teyde (Tenerife — Ilhas das Canárias), demonstrou que, subindo das planícies subtropicais, com a sua vegetação característica, para maiores altitudes, encontramos primeiro florestas do tipo do Loureiro que, gradativamente e nos pontos mais altos, cedem lugar às coníferas como o Pinheiro das Canárias (Pinus Canariensis, aliás muito cultivado no Brasil). Passamos, finalmente, pelo limite das florestas, entrando em campos abertos que nos acompanham até a região das neves.

Clima oceânico e clima continental

A diferença entre as temperaturas invernais e estivais ou, como dizemos, a "amplitude das variações" é muito maior sôbre os continentes do que nos oceanos. Em terra firme, os raios solares são absorvidos por uma camada fina superficial do solo e aquecem sòmente os primeiros milímetros que, por isso, podem alcançar temperaturas muito altas e mesmo letais, acima de 70° C (essas temperaturas podem prejudicar as partes delicadas de plantas em contato íntimo com a superfície terrestre, como plantinhas recém-germinadas). A superfície da água, ao contrário, não absorve os raios solares instantâneamente; êstes passam e seus últimos traços são extintos a uma profundidade de 200 m. A irradiação solar é assim distribuída por uma grande massa de água e o aquecimento não é muito intensivo, sendo que a temperatura máxima de alto mar não alcança nunca 30° centígrados. Se, de um lado, o aquecimento da água é assim mitigado e mais demorado, de outro lado, o seu resfriamento no inverno é também muito lento. Mares e grandes lagos de água doce constituem por isso reservas de calor (e de frio) que influem nas massas de ar sobrejacentes.

Todo o continente Sul-Americano forma como que uma grande ilha entre o oceano Atlântico, o Pacífico e o Antártico, que banham as suas costas. Por isso, seu caráter geral climático é mais do tipo oceânico do que do continental. Aqui nunca observamos os frios intensos que ocorrem anualmente — nas latitudes correspondentes — nos grandes continentes da América do Norte e da Eurásia, e mesmo os calores de verão são em geral menos intensos.

b) *Humidade*

O fator mais importante da vida vegetal é sem dúvida o fator água. Como já vimos na consideração da temperatura, a exuberância da vegetação depende da possibilidade de as plantas absorverem sempre água suficiente para manterem a sua transpiração. Sempre que as fôlhas forem obrigadas a fechar os seus estômatos, não só a transpiração diminui como também deixa de existir fotossíntese por falta de CO_2. As plantas xerofíticas que encontramos nas regiões sêcas crescem lentamente e não podem formar uma vegetação densa porque as raízes de tôdas elas têm que disputar a humidade escassa existente no solo.

Deslocando-nos de regiões húmidas para regiões áridas, deparamos novamente com o fenômeno de um limite florestal que separa as regiões florestais das estepes e dos desertos. Êste limite florestal, porém, nunca será muito nítido em condições naturais, porque a humidade pode variar de lugar para lugar, levando-se em conta as águas (subterrâneas ou superficiais) que o solo recebe. Das regiões húmidas fluem rios para as

regiões áridas e, além disso, existe humidade subterrânea que pode formar um lençol subterrâneo de água. Êste lençol freqüentemente é contínuo nas regiões húmidas. Nas áridas, acompanha os rios pelos quais é alimentado (fig. 269).

Não é fácil distinguir, por definição, regiões áridas de húmidas. Estas são as que recebem no ano mais água em forma de precipitações do que a desprendida, seja por evaporação direta do solo, seja por transpiração das plantas; o excesso da água escoa-se pelos rios que neste caso *drenam* a região. Tôdas as partes do Brasil onde os rios correm todo o ano devem ser incluídas entre as húmidas. Nas regiões sempre áridas não deveria haver rios que saem delas, como nos grandes desertos. Pelo contrário, podem existir rios que provindo de regiões húmidas, entram nas

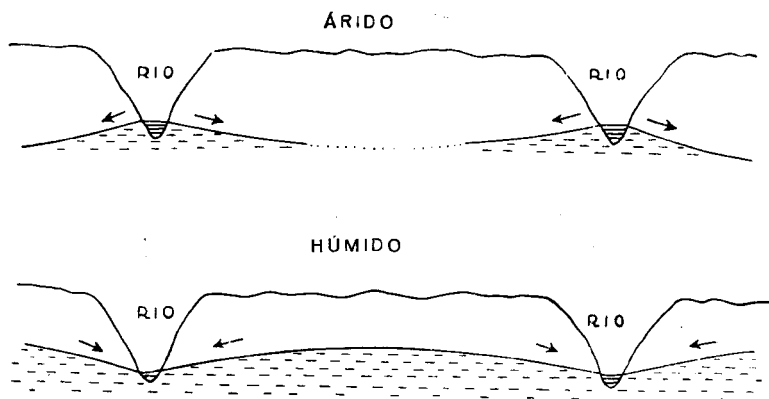



Fig. 269
Perfil esquemático de região árida e húmida. Os traços interrompidos indicam a água subterrânea.

áridas onde freqüentemente morrem ou, em todo o caso, diminuem muito o seu volume de água. Do leito de tais rios escoa-se água para formar um lençol subterrâneo local do qual se alimenta a vegetação dos "*oasis*", sendo que muitas vêzes tais rios são acompanhados de uma cintura de florestas denominadas *florestas ciliares* ou *galerias;* freqüentemente tais florestas são substituídas por culturas riquíssimas, como mostra o famoso exemplo do Nilo, no Egito. Rios que irrigam regiões áridas são freqüentes no interior da Argentina. No Brasil, prevalecem as condições húmidas indicadas na fig. 269.

Nos países tropicais e subtropicais, a existência do lençol subterrâneo de água é de grande importância não só para a vegetação natural como para tôdas as culturas. Em regiões quente-húmidas, a decomposição do solo é muito profunda, atingindo até 20 ou mais metros. Por isso, grande parte do interior do Brasil é coberta por uma camada de terra de muitos metros de espessura e a "rocha-mater" encontra-se sòmente à grande profundidade. As chuvas de verão penetram na terra e descem até a rocha viva que geralmente represa essas águas subterrâneamente (uma exceção é feita pelos arenitos porosos que deixam

escoar a água a profundidades inacessíveis). Êste lençol subterrâneo alimenta os poços muitas vêzes profundos das casas dos moradores do campo. As mesmas águas também alimentam as plantas cujas raízes podem alcançar maior profundidade. É de se notar que as camadas de terra sobrejacentes ao lençol subterrâneo de água são também húmidas. Como resulta de estudos feitos nos campos secos do interior do Estado de São Paulo, a sêca no fim do inverno penetra sòmente de 2 a 3 metros no solo. Plantas cujas raízes atingem maior profundidade, não sentem, por isso, falta de água e assim compreendemos porque os arbustos dos nossos *campos cerrados* muitas vêzes brotam e florescem antes das primeiras chuvas de verão.

Importante também é o fato de que solos despidos de vegetação não evaporam muita água. Depois de secos os primeiros 30 cm, êstes formam uma capa isolante que conserva a humidade das camadas mais profundas. Nisso baseia-se o método muito usado modernamente (embora já conhecido por Homero) denominado na literatura de "dry farming" (cultura sêca). Êste método é atualmente aplicado tanto na América do Norte como na Rússia, em regiões onde não se pode contar com certeza com humidade bastante para garantir anualmente uma colheita de cereais, de algodão, etc. Semeadura e colheita são então feitas alternadamente só cada 2 ou 3 anos. Nos anos em que não se planta, o cultivador cuida de não deixar crescer plantas silvestres, porque suas raízes absorveriam a água no solo. Em tais condições, o solo seca só superficialmente, protegendo as camadas inferiores. As águas da época chuvosa anterior que aí penetram são conservadas e as da nova estação chuvosa aumentam a reserva de modo que esta se torna suficiente para garantir uma boa colheita em 2 ou 3 anos.

Assim, a existência de vegetação exuberante e especialmente de florestas em regiões menos húmidas, depende não só do clima geral da região, como também da distribuição de água no solo, motivo pelo qual o limite entre as florestas e a estepe não pode ser muito nítido.

Em linhas gerais, porém, a distribuição da humidade sôbre a terra está subordinada à posição geográfica das regiões. A humidade por sua vez, depende em primeira linha das chuvas ou das precipitações totais, onde incluímos também a neve e o granizo. Ora, as precipitações são maiores nas regiões equatoriais, daí decrescendo para os dois pólos, como depreendemos da tabela seguinte:

Médias das precipitações anuais, em cm, nas diversas latitudes da América.
Seg. Hann e Kerner.

	⟵		Norte				Equador		Sul		⟶	
Latitude	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Precipit.	50	65	73	74	101	155	201	154	118	89	51	77

As grandes precipitações equatoriais (— o valor de 200 cm significa uma precipitação anual de 2 toneladas de água por m² —) explicam-se pela distribuição geral das correntes de ar: as regiões equatoriais

são as mais aquecidas pelos raios solares. O ar quente, aí, eleva-se, sendo substituído contìnuamente pela afluência de massas de ar das regiões adjacentes e mesmo extratropicais.

> Como vimos à pág. 263, o ar em movimento ascendente resfria-se e a água nêle contida condensa-se em nuvens que finalmente precipitam-se sob a forma de chuva. Compreende-se por isso o caráter típico do tempo normal equatorial: manhãs claras, aquecimento do ar da superfície terrestre, subida dêste, formação de nuvens e precipitações fortes à tarde.

As massas de ar levantadas no equador movimentam-se nas camadas altas para o pólo. Nos pólos, observamos fenômeno contrário: o ar ao resfriar-se contrai-se, tornando-se pesado, desce e desliza na superfície da terra, em direção ao equador. Estabelecer-se-ia assim um grande ciclo de correntes de ar: subida no equador, movimento nas camadas altas em direção ao pólo, descida e volta, nas camadas baixas, para o equador. Na verdade a circulação é muito mais perturbada e complicada. Uma parte do ar que se elevou no equador desce já nas latitudes de 30 ou 40º Norte e Sul, onde prevalecem poucos ventos, céu claro e temperaturas relativamente altas (o ar ao descer se aquece e torna-se sêco (vide pág. 263). Êste fato explica a sêca relativa que provoca a formação de cinturas vastas de estepes e de desertos nestas latitudes.

A elevação do ar e as grandes precipitações no equador não estão ligadas à posição geográfica dêste (latitude O). No seu caminho aparente, o sol move-se do equador para o Sul, onde alcança, em fins de dezembro, o trópico de Capricórnio (23,5º — latitude de São Paulo). Volta depois, passando pelo equador, nos equinócios de março, para alcançar o trópico de Câncer, em fins de junho. Isto quer dizer que a região de maior insolação se desloca do equador, oscilando anualmente entre os dois trópicos. Os fenômenos meteorológicos equatoriais acompanham o sol, declarando-se então, em cada região, com a aproximação do verão, o clima equatorial com as suas grandes precipitações: eis o porquê das grandes chuvas de verão no hemisfério Sul, entre outubro e março. As mesmas chuvas caem no hemisfério Norte no "verão norte", entre abril e setembro. Quando o sol está mais afastado, no inverno, temos uma época de sêca. Nas regiões em que o sol culmina verticalmente duas vêzes por ano, podem ocorrer duas épocas chuvosas e duas sêcas. No equador teríamos as duas estações chuvosas por volta de março e de setembro. Na verdade, aqui as variações das estações são pequenas e, a não ser por influências locais, o tempo nunca se desvia muito do tipo equatorial, já mencionado. Porém, quanto mais nos afastamos do equador, mais incisivas se tornam as diferenças entre a época sêca e a chuvosa.

Além das latitudes geográficas, temos que considerar também a distribuição dos oceanos e dos continentes. Como vimos falando de regiões húmidas, o excesso de água é daí transportado pelos rios até o mar. Esta água deve ser substituída por ventos que afluem do mar para terra,

aqui precipitando a água da qual estão carregados. É evidente que quanto mais nos afastamos dos oceanos, continente a dentro, esta parte das precipitações deve diminuir. Por isso, perto das costas marítimas, costuma prevalecer um clima húmido que, à medida que se penetra no continente, vai se tornando gradativamente mais árido. Êste esquema muito geral é porém grandemente influenciado por vários fatôres como a direção dos ventos que com maior ou menor regularidade podem soprar durante todo o ano ou em certas estações (Alísios e Monções).

Nas regiões tropicais, os *alísios* sopram com certa regularidade. Estas correntes nada mais são do que as massas de ar que afluem para o equador em substituição às que aí se levantam pelas razões já mencionadas. Ventos que se movem em direção ao equador, como aprendemos na geografia, são desviados em direção ao Oeste, em conseqüência da rotação da terra. Assim, os alísios sopram de Sudeste para Noroeste nas costas do Brasil, pelo menos na sua parte meridional.

As *monções* são correntes de ar que afluem no verão para o interior dos continentes, por motivos análogos. Nesta estação, os continentes aquecem-se mais do que o mar, pelas razões já mencionadas na pág. 263, e as massas de ar em ascensão sôbre os continentes são substituídas por outras provenientes de mares, mais frios. As monções mais conhecidas são as correntes húmidas que sopram do Pacífico para o interior da Ásia Meridional, na metade quente do ano.

Estas correntes marítimas de ar são carregadas de humidade que é levada terra firme a dentro. Muitas vêzes porém montanhas e serras antepõem-se a essas correntes, obrigando-as a subir. Deixam cair, do lado onde sobem (barlavento) grande parte de sua humidade, em forma de precipitações; ao descerem (a sotavento), tornam-se quentes e sêcas.

Vales, planícies e planaltos, situados atrás de tais montanhas são freqüentemente desertos, como mostra o caso afamado do planalto do Tibet e também o do oeste da América do Norte. Condições semelhantes provocam a aridez relativa do Nordeste do Brasil e das planícies internas do Norte da Argentina.

As alterações fisionômicas da vegetação, em conseqüência da abundância ou falta de humidade são as seguintes:

1) Regiões que dispõem sempre de água suficiente ou mesmo em excesso e onde não há impedimento algum de absorção ou de condução pela temperatura, trazem florestas de chuva (*"pluviisilvae"*), especialmente as tropicais e subtropicais cuja exuberância já foi mencionada.

2) Em regiões onde a falta de água começa a se fazer sentir, o aspecto das florestas pode ser alterado de dois modos:

a) Os períodos secos podem se alternar irregularmente com dias ou semanas de chuva. Neste caso, as florestas adotam medidas xerofíticas de proteção: suas fôlhas tornam-se mais ou menos duras, com cutícula forte, e também suas dimensões e quantidade tornam-se reduzidas (florestas do tipo do Loureiro e florestas esclerofilas).

b) Onde porém, como na maioria dos casos, a alternância entre uma época chuvosa e outra árida é regular e acentuada, encontramos florestas tropófitas: na época chuvosa, as árvores revestem-se de fôlhas delicadas, com superfícies grandes e, na sêca, perdem a folhagem. Florestas dêste tipo são denominadas de *florestas das monções.* São características das Índias, onde é cultivada a afamada madeira "teak" de *Tectona grandis.*

Prevalecem em grande parte do Brasil condições climáticas semelhantes. Florestas decíduas cobrem as regiões do nosso "Nordeste Sêco". São as caatingas que foram caracterizadas por Martius como "silvae aestu aphyllae"; grandes extensões de florestas do mesmo tipo são encontradas no interior do Norte da Argentina.

Onde a humidade se torna tão escassa que a existência de árvores grandes já não é mais possível, entramos no limite da floresta que é agora substituída por uma vegetação de savana, formada de pequenas árvores distantes umas das outras e de arbustos. A vegetação toma o aspecto dos nossos *campos cerrados* ou do "orchard bush" africano, denominação esta motivada pela lembrança de um pomar que a vegetação arbustiva nos traz. A vegetação baixa de tais campos compõe-se de ervas, especialmente de capins, formações estas também denominadas pelos botânicos de *estepe arbustiva.* Encontramos também estepes sem arbustos onde prevalecem as gramíneas altas ou baixas. Tais estepes constituem os *pampas* sul-americanos e os campos dos "great plains" norte-americanos. A Botânica moderna começa a duvidar do estado natural de tais campos de gramíneas. Desde tempos imemoriais já os homens primitivos ateavam fogo nos campos para livrá-los de arbustos muitas vêzes espinhosos e impenetráveis. As queimas anuais que ainda constituem regra em boa parte da América do Sul, como também na África, Austrália e Índia, podem ter alterado tanto a fisionomia da vegetação que hoje em dia é difícil dizer qual teria sido a vegetação natural (ou o clímax) de certas regiões (vide pág. 276).

Onde a escassêz de água se faz sentir com mais intensidade, as plantas tornam-se cada vez mais baixas e distantes umas das outras, ocupando finalmente os raros capins e arbustos sòmente lugares onde, em covas ou fendas do solo e de rochas, a água pode se acumular. Chegamos assim aos semidesertos e finalmente aos desertos onde a vegetação é muito escassa, xerofítica ou falta por completo.

Felizmente há falta de tais desertos no Brasil, podendo no entanto serem encontrados na Argentina e na parte Sul dos Estados Unidos. São *desertos rochosos* onde afloram as rochas vivas. Onde a areia, formada pela decomposição da rocha, é acumulada pelo vento em vales e planícies, temos o *deserto arenoso,* com dunas movediças. Nas regiões onde os rios evaporam deixando resíduos de sais, surgem as salinas, cuja vegetação, se existe, se compõe de plantas adaptadas à salinidade do solo: as halófitas (1). A areia

---

(1) *Halophytas,* do grego: *hal* = sal.

também não é de todo despida de vegetação. Existem plantas com estolhos de crescimento rápido, que resistem mesmo às dunas movediças (Psamofitas (1).

c) *Outros fatôres ecológicos*

O fator luz é de menor importância nos grandes traços da fitogeografia. A radiação solar, em tôda a superfície de terra firme, é suficiente para permitir a fotossíntese intensiva e o desenvolvimento de todos os tipos de vegetação. A luz porém pode se escassear no interior das matas e, na sombra destas, encontramos plantas adaptadas a uma iluminação fraca que às vêzes perfaz sòmente 1 % ou 1/2 % da iluminação de fora. As *plantas de sombra* geralmente não precisam desta mas *suportam* a baixa luminosidade. O que procuram muitas vêzes é a humidade que reina no interior das florestas. Isto é de grande importância para a composição das nossas florestas. As plantinhas das espécies arbóreas que compõem matas densas suportam bem a sombra; por isso, podem crescer dentro da mata e aí reproduzem a espécie espontâneamente. Existem outras árvores que já desde os seus primeiros anos precisam de mais luz. Tais "*árvores de luz*" costumam ocupar primeiro o espaço livre das roçadas e quando aí se formam matas secundárias, as capoeiras, estas são primeiramente compostas de plantas de luz como as Imbaúbas (*Cecropia*) e o palmito (*Euterpe*). Tais plantas desaparecem à medida que as florestas voltam ao estado anterior densamente sombreado.

O pinheiro é também uma planta que exige certa quantidade de luz. Nas matas densas subtropicais e pluviais dos Estados meridionais do Brasil, a Araucária não se reproduz, sendo por isso relegada para florestas menos densas dos solos arenosos. Onde, porém, por causas climáticas, nas maiores altitudes das montanhas, a floresta subtropical é excluída, o pinheiro estabelece-se também em terreno fértil de terra roxa.

No mar e nos grandes lagos o fator luz exerce maior influência sôbre a distribuição da vegetação. Já vimos à pág. 37 que a qualidade dos raios solares que passam pela água é alterada. Mas as algas de profundidade não só são adaptadas ao uso de certas nuanças do espectro solar como o azul, como também são plantas de sombra.

A *composição do ar* não é também de importância regional fitogeográfica. Existe oxigênio em tão grande quantidade que a respiração das plantas não é prejudicada. Localmente porém, na água e em solos enxarcados, pode-se declarar a falta de oxigênio, falta esta prejudicial à respiração das plantas submersas ou de outras emersas mas de raízes imersas.

O CO_2, embora existindo no ar em pequena quantidade (0,03 %), é distribuído com tanta homogeneidade que não influi na distribuição geográfica das plantas.

---

(1) *Psammophyta*, do grego: *psamma* = areia.

B. SOLO

Designamos por solo a camada externa decomposta da crosta da terra, especialmente a que pode hospedar as raízes das plantas. A ciência dos solos é também denominada *Pedologia* ou *Edafologia* (1).

Como as rochas que, pela sua decomposição, fornecem o material para os solos, contêm em geral todos os sais minerais necessários à vida de uma planta autotrófica (com exceção do nitrogênio — vide pág. 273), a vegetação, no seu estado natural, geralmente não sente falta dos mesmos. Se porém o cultivador tira anualmente com a colheita também as substâncias inorgânicas contidas nas plantas (visíveis nas cinzas dos vegetais), os solos cultivados podem perder ràpidamente a sua fertilidade, a não ser que os sais minerais sejam substituídos pela adubação mencionada à pág. 73. No caso da vegetação natural essas substâncias voltam ao solo com o folhedo e com outros detritos orgânicos.

Por isso as diversas qualidades de solo não influem muito nos grandes traços da fitogeografia, sendo mais de importância local.

Ao considerarmos os solos, distinguimos as qualidades físicas e as químicas. Fìsicamente importante é a estrutura: granulação relativamente grossa dá cascalhos, areias grossas ou areias finas. Quando as partículas têm diâmetro menor do que 0,2 mm, falamos de limo e quando são muito pequenas (0,002 mm), de tamanho coloidal (vide pág. 20), chamamos de argila.

Areias possuem grandes interstícios pelos quais a água se escoa ràpidamente, ficando tais solos secos depressa. Os limos e mais ainda as argilas têm grandes poderes retentivos de água e absortivos em relação aos sais em solução, em vista do que solos limosos e argilosos costumam ser mais férteis do que os arenosos. Os primeiros porém são melhor arejados. Como a respiração das raízes é muito importante, os outros tipos de solos, quando enxarcados, prejudicam muito o crescimento das plantas. A difusão do oxigênio entre as partículas do solo é fácil quando os interstícios estão cheios de ar, tornando-se lenta num solo saturado de água. Por isso, solos enxarcados, como brejos, possuem uma vegetação especial em que faltam plantas com raízes sensíveis ao asfixiamento. As plantas aquáticas e as de brejo suprem a falta de respiração pelas raízes por aerênquimas bem desenvolvidos, formando canais interiores de ventilação que vão das fôlhas até as raízes (compare fig. 141 pág. 148).

Quanto à *composição química dos solos,* já foi mencionado que as rochas ígneas, como os granitos e os basaltos, contêm todos os sais necessários às plantas. Sedimentos, especialmente arenitos, podem ser deficientes, mas em condições naturais geralmente não impedem o desenvolver de uma vegetação se não exuberante, pelo menos viçosa e densa.

---

(1) Do grego: *pedon* e *edaphos* = solo.

Devemos porém mencionar um fator muito importante para nós e que só nos últimos anos começa a interessar os cientistas: a *deterioração rápida dos solos tropicais, em conseqüência da agricultura*. É um fato já familiar ao Brasil e também a todos os países de clima quente-húmido, que os solos sujeitos à agricultura perdem ràpidamente a sua fertilidade. O solo das matas virgens é geralmente fértil; muito fértil quando o substrato geológico é constituído de basaltos e de diabásios — cuja decomposição forma terra roxa —, como os que perfazem a riqueza de grande parte do Brasil Meridional. Após a derrubada das matas, conseguimos geralmente colheitas ótimas durante certo número de anos. Depois, o solo empobrece, as culturas são abandonadas e as terras transformadas em pastagens que anualmente podem ser queimadas.

O cultivador então faz novas plantações em novas roçadas de mato para onde se transfere. Por êste método, vastas áreas de matas inicialmente férteis foram transformadas em campos estéreis. O que acontece neste caso é o seguinte: enquanto as matas ficam intatas, os sais contidos no solo são conduzidos até as copas das árvores, voltando àquele com o folhedo, sendo conservados no humus do solo silvestre. Além disso, as raízes profundas das árvores aproximam-se da "rocha-mater" de onde podem tirar novos sais. Derrubada a mata, as chuvas fortes de verão lavam os sais até grandes profundidades. O húmus que tem poder absortivo para os sais desaparece aos poucos, não sendo mais substituído. Ora, sendo os solos tropicais muito profundos, as raízes das plantas novas cultivadas não alcançam a profundidade e os sais que desapareceram até o lençol subterrâneo ficam perdidos definitivamente. Escoam até os rios (vide pág. 265) e podem reaparecer nos aluviões dêstes, fertilizando então as suas vastas planícies, como acontece com o nosso Paraíba, ou só reaparecendo mais longe por exemplo nas planícies férteis do rio La Plata.

A lavagem interior do solo é um fator importante nas regiões tropicais; nestas desaparacem todos os sais solúveis, restando sòmente os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio que formam o temido *laterito* (1). Solos lateríticos são estéreis e tendem a formar crostas ou armaduras de limonito que fecham por assim dizer a terra, impedindo a passagem das raízes. Tudo isso parece ser em larga escala a conseqüência dos métodos empregados em nossa agricultura, que substitui a floresta pelo cultivo de plantas com raízes pouco profundas e com fraca absorção de água.

O alcance dêstes fatos só agora entra em estudo. Nos países temperados, a lavagem interior dos solos não é de grande importância porque ali as rochas vivas geralmente se encontram a tão pequena profun-

(1) *Laterito*, do latim: *later* = tijolo; serve às vêzes de matéria prima para tijolos e tem a côr de barro queimado.

didade que podem ser atingidas mesmo pelas raízes de plantas pequenas. De outro lado, ali as chuvas não são muito fortes, especialmente na primavera e no outono, quando os campos arados estão sem a proteção da vegetação.

A erosão superficial: Aguaceiros fortes e freqüentes provocam a erosão superficial do solo, arrastando, especialmente em terrenos em declive, a sua parte superior. Em regiões onde os campos são arados e regularmente adubados, a perda desta parte da gleba constitui um grande prejuízo, sendo responsável também pela deterioração de solos. Êste fator pode ser combatido por terraceamento, plantação de faixas protetoras de tipos de vegetação que protegem o solo, etc. Onde existe vegetação natural, a erosão é porém inconsiderável, porque as águas que a provocam permitem também a formação de uma cobertura de plantas que protegem as terras. Só onde a vegetação natural foi afastada, para ceder lugar às culturas artificiais que, pelo menos temporàriamente, não dão proteção ao solo, os estragos são grandes. Mesmo os gramados das pastagens protegem o solo, a não ser onde há excesso, de gado.

Nitrogênio: O nitrogênio tão necessário à vida das plantas não se encontra entre os sais fornecidos ao solo pela decomposição das rochas. Mencionamos já na pág. 74 como, por atividade de bactérias ou por descargas elétricas, nitratos e sais amoniacais entram nos solos, o que nos trópicos se dá em maior escala do que nos climas temperados. A adubação dos solos cultivados não pertence mais ao quadro da fitogeografia, mas sim ao da agricultura, fato êsse já referido à pág. 71 e seguintes dêste livro, onde também é mencionada a influência da acidez dos solos.

C. ASSOCIAÇÕES

Nas páginas anteriores, vimos que cada lugar possui as suas qualidades ecológicas especiais, constituindo o *habitat* das diversas espécies de plantas. Estas, por sua vez diferem muito entre si quanto às suas exigências fisiológicas, de maneira que cada *habitat* convém a certas espécies, ao passo que não serve a outras. Sem intervenção do homem na natureza, a distribuição natural, local ou regional das plantas se faz de maneira que cada lugar possui as plantas a êle melhor adaptadas. (Sementes de outras plantas não podem germinar, ou logo são sobrepujadas por competidores mais fortes). Por isso, as plantas espontâneas que encontramos, podem, por sua vez, esclarecer-nos sôbre as qualidades ecológicas do *habitat* onde são encontradas. Onde há halófitas, por exemplo, concluímos que o solo deve conter sal. Os agricultores conhecem plantas indicadoras que servem de padrão de terra boa, como as figueiras brancas do gênero *Ficus,* o pau-d'alho (*Gallesia Gorazema*), as urtigas do gênero *Urera* e outras.

Geralmente não é uma só espécie mas várias que se agrupam formando então *associações* que, com maior ou menor constância podem ser encontradas em *habitats* semelhantes.

Denominamos comensais (1) as espécies que se agregam por terem exigências semelhantes quanto ao solo e ao clima, quando tôdas elas aproveitam de igual forma as mesmas condições, e quando nenhuma delas depende das outras. Muitas vêzes porém existe interdependência entre as espécies. Assim, plantas umbrófilas dependem da sombra das florestas e, muitas vêzes, também do seu humus, sendo ainda maior a dependência das *epífitas* de suas árvores hospedeiras. Existem também em certas florestas plantas *saprofíticas* que só vivem das substâncias orgânicas fornecidas pelas plantas autótrofas do lugar, dependência essa que finalmente pode conduzir ao *parasitismo*.

Mesmo quando falamos em comensalismo, os comensais podem mostrar certas correlações no aproveitamento do *habitat*. A fig. 270 mostra raízes de duas plantas dos nossos *campos cerrados:* o conhecido *Barbatimão* (*Stryphnodendron Barbatimão*), árvore pequena cujas raízes absorventes atingem grandes profundidades e que mesmo durante a época sêca contêm humidade; e as do capim flechinha (*Echinolaena inflexa*) que se desenvolve na meia sombra dos arbustos e cujas raízes superficiais aproveitam sòmente a água contida no primeiro 1,5 m.

Fig. 270
Perfil do solo de campo cerrado, mostrando a distribuição das raízes na convivência do capim flechinha (Echinolaena inflexa) em redor do Barbatimão (Stryphnodendron Barbatimão).

Muitas vêzes grupos pequenos unem-se para formar associações maiores ou "grupos de associações". Certas espécies constituintes são muito características, apresentando-se sempre em umas e faltando em tôdas as outras associações. Todo êste comportamento associativo das plantas forma um assunto de uma disciplina relativamente nova, a "sociologia botânica" e que costuma trabalhar com métodos estatísticos. Os ensinamentos da sociologia botânica são porém controvertidos. A terminologia empregada é muito discutida e a aplicação de tais conhecimentos em regiões tropicais limitada. Aí as

(1) *Comensalismo*, do latim: *mensa* = mesa.

associações deixam de ser agrupamentos bem definidos pela grande riqueza das espécies que compõem as formações naturais e que dificultam uma visão geral. Só em certas ocasiões em que a vegetação é reduzida a poucas espécies, podemos reconhecer e indicar as associações. Assim, tanto no litoral como no manguezal que ocupa as enseadas e os estuários calmos de todos os litorais tropicais inundados duas vêzes por dia pela maré alta, as plantas psamofíticas e halofíticas formam agrupamentos nítidos (vide pág. 270).

As regiões sêcas do nosso interior com seus campos cerrados também permitem o estabelecimento de listas de plantas que compõem as suas associações, mas neste caso já se trata de centenas de espécies cujo papel definitivo nas mesmas fica por esclarecer. As florestas brasileiras são tão ricas em espécies que ainda não foi possível estabelecer as associações de árvores que correspondam às diverses condições ecológicas.

Sucessões. — Não só as associações dependem do ambiente como êste depende daquelas. Já vimos que as plantas também podem modificar as condições locais, quando mencionamos que primeiramente crescem as árvores de luz depois da derrubada de matas. Essas árvores de luz preparam a sombra e o húmus necessários para o crescimento das plantinhas mais exigentes que vão recompor a mata definitiva. Estabelecem-se assim primeiro as associações de plantas de luz que em seguida são substituídas por plantas de sombra. Tal substituição de uma associação por outras, chamamos de sucessão.

Podemos estudar séries de sucessões nítidas, por exemplo, nas praias arenosas do nosso litoral. Ao secar, a areia torna-se movediça, formando pequenas dunas. Apenas fora do alcance das ondas do mar, as pequenas dunas (antedunas) são ocupadas por plantas que ao mesmo tempo são halófitas e psamófitas; formam uma vegetação pioneira que fixa estas dunas. As antedunas geralmente são formações pouco estáveis, sendo que cada maré maior pode destruí-las. Um pouco mais para o interior, estabelecem-se dunas maiores que ainda hospedam plantas halófitas e psamófitas que agora, aos poucos, fixam a areia definitivamente. O solo perde o seu caráter puramente arenoso, recebendo sombra e humus, e as primeiras associações da areia, pelo próprio trabalho, preparam o terreno para a sua substituição por plantas não mais halófitas nem psamófitas, mas sim por florestas formadas primeiramente de plantas de luz e depois de plantas de sombra. Assim, a série de transformações só pára quando o terreno estiver ocupado pelo agrupamento que melhor corresponde às condições ambientes. Esta associação ou formação que definitivamente ocupa o lugar em condições naturais denomina-se *clímax* (1). Êste conceito é muito importante para a fitogeografia. A intenção de cada caracterização fitogeográfica de uma região é de estabelecer as formações clímax. Isto porém freqüentemente é difícil senão impossível em virtude da interferência humana que alterou profun-

(1) *Clímax*, do grego: *klimax* = escada, significando o degrau mais alto.

damente, desde épocas pré-históricas o aspecto da vegetação. Mesmo na Europa tão bem estudada, os verdadeiros clímax ainda estão sendo discutidos.

A fig. 271 mostra, noutro exemplo, uma seqüência de zonas vegetais no espaço, que muito fàcilmente pode ser transformada numa sucessão no tempo. No fundo de um lago de água doce, observamos — em profundidades maiores onde a luz reinante ainda permite vegetação — uma vegetação aquática, baixa, geralmente de algas do grupo das *Characeas* (*Chara* e *Nitella*) e que sempre vivem submersas. Todos os lagos têm tendência a encher-se, por sedimentação, transformando-se em brejo e finalmente em terra firme. As partículas finas de argilas e de detritos que contìnuamente são aduzidos pelas águas depositam-se

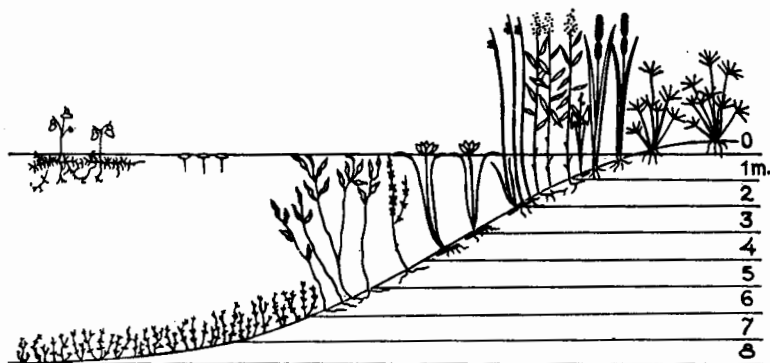



Fig. 271

Litoral de um lago com zonas de vegetação submersa (Characeas, Potamogeton, Elodea), anfíbia = Nymphaeas, Scirpus, Gramíneas aquáticas, tabuas (Typha dominguensis) — e de brejo (Cyperus). As plantas flutuantes são Utricularia e Lemna.

e sedimentam-se entre a vegetação do fundo, elevando cada vez mais o leito do lago. Finalmente, podem crescer aí plantas que precisam de mais luz e que tendem, embora submersas, a desenvolver suas fôlhas junto da superfície da água. Os seus rizomas continuam no seu trabalho de sedimentação e de nivelação. Quando a profundidade não ultrapassa mais de 3 a 5 m, estabelecem-se plantas com fôlhas flutuantes como as Nymphaeas. Em seguida, aparecem nesta série plantas mais anfíbias, por assim dizer, com uma parte submersa e outra emersa, como vários juncos, gramíneas e tabuas. As partes alagadiças que são mais de terra firme do que do lago são brejos ou banhados onde crescem *Cyperaceas, Eriocaulaceas,* etc.

Às vêzes os níveis das águas tanto dos lagos como dos rios estão sujeitos a grandes oscilações durante o ano. Estabelecem-se então outros tipos de plantas anfíbias, como por exemplo a nossa aguapé (*Eichhornia crassipes*) que durante a época sêca cobre as baixadas alagadiças. Quando estas se enchem de água chuvosa, a planta sobe à superfície, o que é

possível devido as bóias que possui formadas pelas bases folheares (fig. 134, pág. 144). São conhecidas as "ilhas" ou "prados" flutuantes que anualmente o Amazonas leva rio abaixo e que se compõem de tais plantas.

Quando o lago estiver completamente nivelado, a sucessão pode continuar. A vegetação baixa do brejo pode ser substituída, primeiro por árvores que resistem a um solo alagadiço. Como as próprias árvores, pela sua grande transpiração, diminuem a humidade do solo o terreno por sua vez prepara-se para a imigração de outras árvores de exigências maiores quanto ao arejamento da terra, e, finalmente, estabelece-se a vegetação clímax da região.

No litoral marinho, o processo de nivelamento pode ser executado de forma análoga pelos manguezais (fig. 137, pág. 146) que se estabelecem em lugares limosos, salgados ou salobros. Aqui também as argilas e os detritos orgânicos podem se acumular; a vegetação começa a ficar fora do alcance das marés altas e as chuvas afastam o sal do solo. Assim o terreno torna-se apto para receber outras associações de florestas cuja sucessão também vai culminar na formação do clímax.

Partindo de diferentes estados iniciais as séries de sucessões ("seres") podem convergir para formação de um clímax único. Êste já não depende tanto das condições acidentais do solo do que do clima da região. Muitos autores definem simplesmente o clímax como o grupo de associações que melhor corresponde ao clima. Podem porém existir clímax diferentes no mesmo clima mas em solos diferentes.

D. FORMAÇÕES FITOGEOGRÁFICAS DO BRASIL

As considerações das páginas anteriores nos fazem compreender, em linhas gerais, a distribuição das zonas e das regiões vegetais sôbre a superfície terrestre, como foi apresentado no mapa da pág. 260-a. Êste, tirado da última edição (1947) de Strasburgers Lehrbuch der Botanik é sumário e provàvelmente terá de ser modificado no futuro. Já mencionamos as regiões das savanas sêcas tão extensas da África e da América do Sul, regiões essas que talvez não sejam completamente naturais, mas devidas em parte a interferência humana. Ninguém hoje em dia pode ousar indicar os clímax verdadeiros das regiões em questão. Precisamente quanto à América do Sul, o mapa deixa muito a desejar. No original, o Uruguai e boa parte do La Plata aparecem cobertos de estepes áridas. Na verdade, porém, trata-se de regiões tão húmidas, que sua vegetação original deve ter sido do tipo florestal.

O Brasil abrange regiões tão vastas, de caráter topográfico e climático tão variado que seria difícil uma descrição resumida.

O Norte possui uma vegetação típica das florestas equatoriais na *Hiléia* (1) *Amazônica*. O Sul sai dos trópicos, entrando já em regiões de clima temperado. Tanto no litoral como em certas partes do interior,

---

(1) *Hylaea*, do grego: *hyle* = floresta, selva.

existem planícies e vales de pouca altitude; a maior parte do país, porém, é ocupada por planaltos e por montanhas que dão à região clima e vegetação característicos das montanhas tropicais. Estas nunca ultrapassam, em altitude, 3 000 m o que significa que a vegetação fica sempre aquém do limite alpino das florestas. Quando forem encontrados campos nos cumes das montanhas em vez de florestas, êstes devem sua existência seja à interferência humana, seja ao solo rochoso onde árvores não podem se fixar.

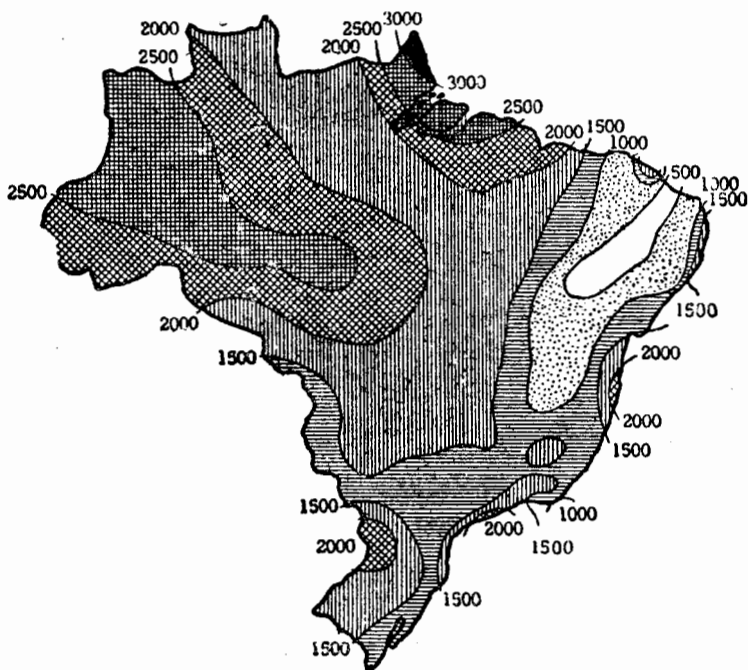



Fig. 272
Distribuição das chuvas médias em mm por ano, no Brasil.
Seg. Serebrenick.

O fator mais importante da nossa vegetação é a humidade. Todo o Brasil em geral conta com muitas precipitações, excetuando-se ùnicamente o "Nordeste sêco", onde as precipitações anuais são, em média, inferiores a 1 000 mm (fig. 272). Precipitações de 600 a 800 mm por ano não são pequenas, comparadas com as de regiões verdadeiramente áridas. (Nas regiões áridas da África do Sul, por exemplo, e também da Argentina, as precipitações mantêm-se aquém de 500 mm, e nos próprios desertos são inferiores a 250 mm). Mas a irregularidade das chuvas no nosso Nordeste tão quente é que pode produzir anos verdadeiramente secos, fato êste agravado pelo consumo de água, por transpiração que ali é muito grande.

As variações de clima permitem-nos distinguir certas províncias regionais (fig. 273), distinção essa já esboçada primeiro por Martius

e que foi conservada com poucas alterações nas descrições fitogeográficas contemporâneas (1).

Zona da Hiléia Amazônica: Esta parte abrange 40 % do nosso território. É ocupada por florestas equatoriais do tipo já descrito (pág. 262), higrofítico, exuberante, composto de vários andares de árvores, entremeadas de trepadeiras, epífitas, saprófitas e parasitas. As formações naturais variam, sendo diferentes no alto e no baixo Amazonas, e especialmente segundo o terreno. As regiões sempre inundadas por

Fig. 273
As zonas principais de vegetação no Brasil.

alagadiços, os *igapós,* diferem em sua vegetação das *várzeas* temporàriamente inundadas e da terra firme, nunca inundada. Dentre as inúmeras espécies de árvores, mencionamos a castanha-do-pará (*Bertholletia*) e o Caucho (*Castilloa Ulei*). Nas várzeas cresce a seringueira (*Hevea brasiliensis*). Entre a vegetação baixa, mencionamos a palmeira que produz o marfim vegetal (*Phytelephas microcarpa*). As enseadas calmas das águas hospedam a Vitória-régia; na época das enchentes formam-se as ilhas ou prados flutuantes já mencionados, que contêm, além do aguapé, emaranhados de gramíneas (*Canaranas* do gênero *Panicum*) e outras plantas anfíbias. Nem tôda a Hiléia é florestada; contém também campos de aspecto sêco e de vegetação afim à dos campos cerrados, campos êsses cuja origem é duvidosa.

Zonas das Caatingas. — Formam constraste maior com a *Hiléia* as florestas decíduas, as características *caatingas* do Nordeste sêco. As ár-

(1) A. J. de Sampaio — Fitogeografia do Brasil. 3.ª ed. — Cia. Editôra Nacional. 1945.

vores de que as caatingas se compõem geralmente são tropofíticas (compare pág. 270) e deixam cair as fôlhas na época sêca, como a característica *barriguda, Cavanillesia arborea* — fig. 125, pág. 139 e a *Chorisia ventricosa,* ambas da família das Paineiras — *Bombacaceae*) mas não o joàzeiro (*Zizyphus Joazeiro*). Nas partes mais sêcas das caatingas, encontramos outras plantas de caráter pronunciadamente xerofítico como Cactáceas e Bromeliáceas. As caatingas cobrem hoje em dia vastas áreas abrangendo uma extensão de 700 000 km² aproximadamente, nos Estados da Bahia, Piauí, Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas e Sergipe. Não há dúvida de que nem tôdas estas terras são genuìnamente de caatinga, porque as velhas estatísticas nos ensinam que todos êstes Estados eram antigamente muito mais florestados do que hoje e que as derrubadas de árvores deram lugar à invasão desta formação.

Nas regiões que formam a transição entre *Caatingas* e *Hiléia,* encontramos vastas áreas cobertas de palmeiras, especialmente o babaçu (*Orbignya Martiana*) cujos frutos fornecem óleo precioso e também a carnaubeira (*Copernicia cerifera*) explorada pela cêra que se forma do lado inferior das fôlhas. Esta zona talvez possa ser distinguida como sendo a dos *cocais.* Ao contrário do que acontece nas caatingas, os cursos de água são aí perenes e o subsolo parece armazenar uma grande reserva de água subterrânea.

Zona das matas costeiras. — As costas do Brasil, com poucas exceções, recebem água em abundância; como geralmente existem serras costeiras que interceptam a humidade trazida do Sudeste pelos alísios, em forma de chuvas, faixas largas que acompanham a costa possuem uma vegetação de florestas higrofíticas que no seu aspecto se parecem com as equatoriais da Amazônia. Devido à sua posição seja subtropical seja de nível mais alto, montanhoso, as nossas costas não hospedam tôda a variedade de formas daquelas. Mesmo entre as plantas cultivadas ou exploradas, existem algumas que não vão muito além das regiões equatoriais como o guaraná (*Paullinia sorbilis*), o cacau (*Theobroma cacao*), e mesmo o côco da Bahia que só é cultivado nas costas do oceano até a latitude do Rio de Janeiro ou de São Sebastião. Tôda esta região hoje não é mais muito coberta por florestas porque as culturas cada vez mais abrem claros maiores nas selvas primitivas.

Zona temperada. — As florestas do extremo Sul, especialmente das montanhas, tomam um aspecto diferente, porque aqui já estamos bem fora dos trópicos e o clima assume caráter temperado. Aí os invernos já são frios e apresentam geadas, excluindo, na maior parte da zona, a cultura do café. Os planaltos são ocupados pelo pinheiro que forma, ou melhor, formava extensas matas. Acompanham os pinheiros entre outros, a imbuia (*Phoebe porosa*) e a erva-mate (*Ilex Paraguayensis*).

Zona dos Campos. — A maior parte do interior do Brasil Central e Meridional apresenta caráter intermediário entre tôdas as regiões já descritas. Trata-se em geral de regiões montanhosas de planaltos e

de serras. Hoje, grande parte desta região parece árida, coberta muitas vêzes de *campos cerrados* ou mesmo de *campos limpos* que servem de pastagem. Outras partes trazem ainda florestas mesmo de caráter bastante higrofítico, florestas estas que provàvelmente em épocas não muito remotas tiveram extensão maior. Testemunha muito eloqüente disso são as observações feitas em 1818 por Martius (1) em regiões de Mato Grosso que hoje estão cobertas por campos (2):

"Finalmente, consta que na Capitania de Mato Grosso, mormente no rio Guaporé, no Madeira e ao norte dos banhados da Vargeria, donde surgem as fontes do rio Arinos, estende-se incomensuràvelmente uma floresta mais ou menos densa, rica em bálsamo de copaíba (*Copaifera Langsdorffii* e outras espécies) e favas de pichurim (*Persea Pichurim*) e na qual jamais algum viajante europeu se embrenhou."

A existência natural de florestas nestas regiões concorda bem com a humidade ambiente, como se deprende da comparação da fig. 272. Hoje em dia, porém, são os campos cerrados que constituem a vegetação mais característica de quase todo o interior da zona, indicada por isso como a *zona dos campos.* Os campos cerrados são cobertos de arbustos e de pequenas árvores distanciadas entre si para deixar espaço entre as ervas e as gramíneas que só vegetam durante a época chuvosa ou enquanto persistir humidade nas camadas onde têm as suas raízes (vide fig. 270). As árvores são baixas, tortas e a sua casca muito grossa quase sempre se apresenta enegrecida pelo fogo, pois nestas regiões prevalecem as queimadas anuais, às quais só resiste a vegetação que aqui encontramos. Estas queimadas, por isso, são de grande importância fitogeográfica e provàvelmente já foi costume pré-histórico dos índios ateá-las. A êles também já se refere Martius no trabalho citado, da maneira seguinte: "Os campos são anualmente queimados, durante os meses da sêca, pelos moradores a fim de favorecer o crescimento da grama pela cinza fértil. As chamas, assopradas pelo vento continental, espalham-se com fúria incrível sôbre as áridas planícies, tornando rubro em extensão imensa o horizonte noturno".

Provàvelmente derrubadas das matas primitivas e a extensão dos fogos crearam as condições propícias à imigração da vegetação dos campos cerrados. Devemos supor que esta vegetação não apresenta o verdadeiro clímax natural em grandes partes da região dos campos. O centro do desenvolvimento natural das associações dos campos cerrados, provàvelmente deve ser procurado em regiões mais áridas, perto das caatingas, onde as plantas daqueles muitas vêzes existem em associações com a vegetação destas.

Plantas cultivadas

A vegetação natural vem sendo cada vez mais substituída pelas culturas. O homem branco já encontrou na América do Sul o milho, a batatinha inglêsa, o tomate, o fumo, o amendoim, o feijão, a abó-

---

(1) C. F. Ph. von Martius. «A Fisionomia do Reino Vegetal no Brasil». Trad. de E. Niemeyer e C. Stellfeld. Arquivos do Museu Paranaense — 3: 239-271; 1943.
(2) Mapa Fitogeográfico do Brasil. Museu Nacional. Rio de Janeiro, 1926.

bora, o cacau, a seringueira, o caucho, a mandioca, o abacaxi, a batata doce e a erva-mate, algumas delas já cultivadas e outras só sendo exploradas pelos indígenas (1). Hoje cultivamos quase tôdas as espécies que podem ser plantadas nas regiões tropicais e subtropicais, especialmente a cana-de-açúcar, o café, a banana, o arroz, só no Norte o côco da Bahia, mas em tôda a região a laranja e o limão. A cultura do algodão torna-se de grande importância e, especialmente nas partes mais frias, o trigo. O reflorestamento se faz de preferência com várias espécies do gênero *Eucalyptus*, nativo da Austrália, que, como parece, é capaz de transformar em matas terrenos estéreis da região dos campos e mesmo das caatingas.

Nos Estados do Sul, começa-se o replantio dos pinheiros nas regiões agora deflorestadas. O reflorestamento impõe-se em grande escala. No futuro provàvelmente irá ser tentado também sob forma de *reflorestamento natural* que espontâneamente vai cobrir grandes áreas, uma vez excluídas as derrubadas e as queimadas. Conhecendo-se melhor as condições ambientes, a Silvicultura poderá também tentar culturas de madeiras preciosas de árvores exóticas.

---

(1) Veja F. C. Hoehne, Botânica e Agricultura no Brasil no século XVI, São Paulo, 1937.

ÍNDICE ANALÍTICO

A

abacateiro 242
abacaxi 227, 283
abelha 251
abóbora 64, 114, 256, 257, 282
Absorção d'água 52
Absorção dos sais minerais 71
Acácia 128, 129
Acacia podalyriafolia 128
Acanthaceae 224
Achillea lanulosa 145
Acíclico 222, 242
Ácido acético 44
Acidófilo 74
Actinostele 113
Acúleos 137
Adesão 67
Adubo verde 75
Aerênquima 99, 147
Aerobiontes 44
Aerotactismo 34, 153
Aerotropismo 161
Afídios 70
Agave 234
aguapé 144, 280
Ágar-ágar 155
Aizoaceae 251
Albume 228
Alburno 109
alcachôfra 258
Alecrim do Jardim 60, 121
Aleurites 251
Algas marinhas 92
Algas verdes 172
algodão 116, 226, 247 283
alho 234
Alísios 269
Alleluia 246
Alleluias 244
Allium 234
Aloe vera 62
Alternância de gerações 191
Amaryllidaceae 234
Amaryllis 234
Amazônica 278
Amebas 22, 186
ameixa 244
amendoim 76, 282
Amido 22, 32 33
Amilase 44
Amoebas 22, 186
Amoeba proteus 186
Amora 227, 228
amoreira 251
Amor-perfeito 115
Amygdalus 244
Abeto 219
Anacardium occidentale 227
Anaerobiontes 44
Anafase 97
Anatomia 12
Androceu 219, 223
Androeceum 219
Androcryphia 93, 200, 205
Angiospermae 181, 210, 215, [217, 218, 219, 228
Anéis anuais 106
anemófilas 251
Anemofilia 221
Aneura eriocaules 93
Anisogamia 175
Antártica 260
Antarktis 260
anteduna 276
Anteras 219, 220
Anterídio 189
Anterozóides 154, 187
Anthocerotales 93, 203
Anthocyana 50
Anthurium 238
Antípodas 211, 230
Antigonum leptopus 138
Antociana 50
Apetalae 241, 251
Aphidios 70
Aplanósporos 169
apocarpia 234
Apocynaceae 120
Apressórios 149
aquênio 257
arborea 281
Archegonio 154, 200
Araceae 41, 147, 225, 238
Arachis hypogaea 76
Araucária 260, 271
Araucaria brasiliana 136, 216, [219, 220, 259
Archichlamydeae 241
Árido 226
Arquegônios 154, 200, 215
Articulações 164
Aristolochia 101, 243
Aristolochiaceae 242, 243
Arroz 236, 283
arruda 248, 250
Árvore genealógica 181
árvore de luz 271
Ascídios 132
Ascolichenes 196
Asclepiadaceae 254, 255
Asclepias 254, 255
Ascomycetes 195, 196
Aspargus 234
Aspergillus 169
Assimilação do carbônio 28
Assimiladores 85, 91, 137
Associação 274
Astereae 258
Atactostele 113
Autótrofo 39
Austrália 260
Australis 260
Aveia 34, 155
Avena sativa 34, 155
Avenca 202
Avicennia tomentosa 146, 147
Aubrietia deltoidea 116
Auto-esterilidade 223
Auto-fecundação 205
Autogamia 223
Auxina 155
Auxósporos 168
Azotobacter croococcum 75

B

babaçu 237, 281
Babosa 62
Baccharis 258
Baccharis genistelloides 138
Bacillus subtilis 81, 184
Bactérias 40, 81, 172, 184
Bactérias autótrofas 45
Bactérias fixadoras do nit. 45
Bactérias nitrificantes 45
Bacterium radicicola 75
Bactris setosa 237
Bagas 227
Bagas compostas 228
Bagas parciais 227
Bainha 122
Balanophoraceas 150
bálsamo de copaíba 282
Bambusa 110, 236
banana 283
Bananeira 110, 122, 125, 171, [179
Barbatimão 275
Barriguda 139, 281
Basidiomycetes 195, 196
Basidiolichenes 196
Basófilo 74
Batatinha 34, 141
batata doce 283
batatinha inglêsa 254, 282
Batrachium aquatile 129
Batrachospermum 86, 87, 91, [194
baunilha 241
Beggiatoa mirabilis 45
Begônias 157, 171, 248
Begoniaceae 248
Beija-flores 221, 224
Beijerinck 75
Berthelot 75
Bertholletia 280
Bignoniaceae 110, 111, 254
Biocenose 45
Biologia 11
Boletus edulis 87
Bôlsa do pastor 230
Bombacaceae 138, 247
Bombidae 251
Borracha 117
Borboletas 221
Borbulha 172
Boro 28, 72
Bose 69
Bostrychia 88
Botânica 11
Botânica aplicada 12
Bougainvillia 251
Bougainvillea spectabilis 131
Boussingault 74
Brácteas 129, 130
Brassica 249
Brasilina 109
brejo 277
brevistyla 253
Brilho 127
Bromeliáceas 259, 281
Bromeliaceae 132, 234

Brown e Escombe 59
Bryophyta 89, 91, 92, 170, 181, [197
Bryophyllum calicinum 171
Buchner 44

C

caatingas 270, 280
Cabo da Boa Esperança 260
cacau 225, 247, 281, 283
Cacho simples 225
Cactáceas 62, 138, 251, 259, [281
Caesalpinioideae 109, 244, 246
caetês 238
café 283
Caju 228
Calamitaceae 207
Cálcio 28, 71, 73
Calcífilo 74
Calcífugo 74
Cálice 220, 221, 226
Calla aethiopica 56
Calla aethiopica 238
Callithamnion 193
Callitris quadrivalvis 120
Callus 157
Calorias 28, 30, 39
Calosiphonia 86
Câmara polínica 209
Câmbio 103
Câmbio fascicular 104
Câmbio interfascicular 104
Campânula 140, 223, 253
campo cerrado 267, 270, 275
campos limpos 282
cana-de-açúcar 115, 171, 236, [283
Cana índica 238
Canaceae 238
Canaranas 280
Capensis 260
capítulo 257
capixingui 251
Capsella bursa pastoris 115, [230
Cápsulas 226
Capuchinho 23, 32
Carboidrato 31, 36
Carboniano 197
Carbônio 28, 71
Carica Papaya 136, 248
carina 226, 245, 247
Cariocinese 96
Caricaceae 248
Carludovica 237
Carnaúba 115, 237
carnaubeira 281
Carotenos 160
Carotina 35
Carrapicho 226
carqueja 138, 258
Carúncula 231
Caryophyllaceae 251
Casca secundária 110
Cássia 244, 246
castanha-do-pará 280
Cladólio 138
Cladophora glomera 84
Classis 179
Clematis vitalba 98
climax 270, 276, 278
Clorênquima 99
Clorofila 35
Cloroplastos 17, 20, 22, 37
Clostridium Pasteurianum 75
Cravo 55, 251
Crescimento de diferenciação 154
Crescimento de distensão 154
Crescimento secundário em espessura 103, 110
crisântemos 258
Cromatides 97, 175
Cromatóforos 23
Cromatoplasma 182
Cromômeros 176
Cromoplastos 23
Cromosomas 96, 175
Cromosomas homólogos 176
Crossing-over 176
Croton 251, 252
Cruciferae 247, 249
Cryptogamae 181
Cryptogamae superiores 94
Cucurbita 257
Cucurbita Pepo 64, 114
Cucurbitaceae 256
cultura sêca 267
Cupressus 107, 129, 215, 216
Cupressus sempervirens 107
Cuscuta 149
Cutícula 55, 114, 121
Cutina 24
Cutleria multifida 187
Cyanophyceae 82, 84, 170, [182
cyathio 252
cyathium 251
Cycas 209
Cycadales 209, 213, 215
Cyclanthaceae 237
Cydonia vulgaris 228
Cylindrospermum stagnale 82, [183
Cymbella cistula 173
Cyme 226
Cynara 258
Cyperaceae 136, 235
Cyperus 277
Cypripedilum 240
Cytologia 12
Cytoplasma 19
Castilloa 280
Catafilos 129
Cataphyllos 129
Cattleyas 241
Caucho 280
caucho 283
caudícula 241
Caule 136
Caule suculento 138
Caule volúvel 139
Caulículo 229, 231
Caulifloria 225
Cavanillesia 281
Cavanillesia arbórea 139
Cavalinha 202, 207
Cavalo 170
Cecropia 271
Célula anexa 102
Célula apical 86, 87
Células colares do canal 198, [202
Células excretoras 118
Células glandulares 120
Célula de Pfeffer 48, 58
Células secretoras 118
Célula de Traube 47
Célula ventral do canal 198
Celulose 24, 32, 44
Cenoura 23, 35
centeio 236
Centroplasma 182
Centrosoma 97
Cêra 125
Ceratozamia 210
cereja 244
Cerejeira 130
Cerne 109
Cerveja 44
Cevada 44, 143, 236
Chagas 23, 32
Chalaza 212
Chara 277
Characeas 277
Chiasma 177
Chimiosynthese 46, 80
Chimiotactismo 153
Chlamydomonas 153, 162, 169, [172, 186, 193
Chlamydomonas angulosa 153
Chloroplasto 17
Chlorophyceae 82, 83, 161, 168, 169, 172, 193
Chlorophylla 17, 35
Choripetalae 241
Chorisia 247, 281
Choupo 149, 160, 171
choupos 251
Chuchu 162
Chrysanthemum 258
chuva de verão 268
cíclicas 242
Ciliaria 195
Cilindro central 111, 113, 153
Cinchona 256
Cipó-chumbo 149
Cipreste 107, 129, 215, 216
Citologia 12
Citoplasma 19
Citrus 248, 250
Cladophora 84, 97
campos cerrados 282
Coccus 81, 184
Côcos 237
côco da Bahia 227, 281, 283
Cocos nucifera 227
Coeficiente assimilatório 36
Coeficiente respiratório 41
Coelogyne cristata 142
Coffea 256
Cogumelos 40
Colênquima 113, 114
Coleptile 155, 232
Coloidal 19, 53
Colônias 81
Colônia em fio 83
Columniferae 247
Coluna 218
Coluna central 218
Coifa da raiz 89, 143, 160
Combustão lenta 29
comensais 275
Commelinaceae 235
Compositae 257, 258
Compostas 226, 257
Condriosomas 23
Condução da água 63
Conidióforos 169
Coniferae 105, 120, 127, 209, [210, 215, 219, 227
coníferas 262
Conetivo 220
Conjugação 174
Conjugatae 17, 174, 193
Convallaria majalis 131
Convallariaceae 234
Convulvulaceae 253, 254
Copaifera Langsdorffii 282
Copernicia 237
Copernicia cerifera 281
Copernicia cerifera 115
Copo-de-leite 56, 57, 238
Coprinus 197
Coprinus sterquilinus 85
Copulação 171, 172
coqueiro 237
Cora pavonia 196

Cormo 57
Cormofita 89
coroa-de-Cristo 253
Corola 221
Correa speciosa 116
Correlações 155
Corypha 237
Cotilédones 129, 228, 229
Couve 249

D

Dahlia 145, 258
dálias 258
damascos 244
Darlingtonia Californica 132
Darwin, Charles 178
Datura 254
Datura arborea 38, 124
Daucus Carota 35
Deiscência 226
Delphinium 215
Dendrobium nobile 142
Deplasmólise 51
Dermatogênio 91, 95
derrubadas das matas 273, [282
De Saussure 40
desertos 259, 262, 268, 269, [270, 279
deserto arenoso 270
deserto rochoso 270
deterioração 273
De Vries 11, 50
Diafototropismo 160
Diageotropismo 159
Diagramas 222
Dialypetalae 224, 241
Dianthus 251
Dianthus caryophyllus 55
Diaphototropismo 160
Diatomaceae 167, 173, 178, [194
Dicásio 137, 226
Diclino 220
Dicotomia 88
Dicotyledoneae 102, 103, 105, [108, 125, 223, 229, 233
Dictamnus Fraxinella 120
Dictyota 88, 91, 189, 190, 194
Difusão 46
Dioecia 205, 220
Dionaea muscipula 133
Dioon 210, 214
Diplobiontes 178
Diplococcus 81
Diplofase 178
Diplóide 175
Dipteris conjugata 67
Divisio 179
Divisão de redução 175
Dorsiventralidade 124, 162, [163, 224
Dracaenas 110, 111, 233, 234
Drósera 133, 163
dry farming 267
Dryopteris Filix mas 203
Du Hamel 69
duna 270, 276
Dutrochet 40, 47

E

Ecballium 257
Ectocarpus 193, 194, 197
Edafon 45, 74
Edafologia 272
Eichhornia crassipes 144
Elaeagnus angustifolia 116
elementos florais 261
Elodea 34, 90, 277
Embrião 202, 227, 228, 229, [230
Enantioblastae 235
endêmico 259
Endocarpo 227
Endoderme 112, 143
Endosperma 228
Endosperma primário 228
Endosperma secundário 229
Endotécio 220
Endotérmico 30
Energia solar 30
Engelmann 34, 153
Entomofilia 221
Enxertia 171
Enxôfre 28, 71
Enzimas 44
Epicarpo 227
Epiderme 55, 114
epiginia 246
Epígino 225
epífitas 275
Epinastia 163
Epiphytas 40, 146
Epitélio 109, 110
época de sêca 268
Equisetineae 207
Equisetum 207
Eriocaulaceae 210, 235, 277
erosão superficial 274
Erva-de-passarinho 88, 138 [211
Erva-de-rato 254, 256
Erva-doce 210
erva-mate 281, 283
Ervilha 30, 32, 112, 113, 124, [245, 247
Erythrina 212
Esclerênquima 92, 102
Esclerênquima liberiano 99
Esclerófilos 116, 263
Escudo 161
Espadice 210
Espargos 234
Espécie 167, 170
espermatângio 191
espermatios 191
espículas 236
Espiga 210
Espinhos 127
Espirema 96
Espirradeira 59, 60, 157
Esporângios de Filicíneas 66, 203
Esporinha 215
Esporofito 192
Esporos 183
Esquírula 171
Esquizógeno 120
Essências oleosas 120
Estames 219, 220
estandarte 245
Estatolito 160
estepes 262, 268, 278
estepe arbustiva 270
Estigma 142, 153, 217
Estilete 217
Estiolamento 155
Estípula 122, 123, 130
Estolho 140
Estômatos 56
Estômatos de Gramíneas 58
Ectocarpus siliculosus 188
Estróbilos 215, 218
Eucalyptus 245, 283
Eucalyptus globulus 128
Eudorina 82
Euglena 186
Eugleninae 186
Euglossae 251
Euphorbiaceae 119, 231, 251, [252
Euphorbia 252, 253
Euphorbia pulcherrima 131
Euterpe 271
Excitação 151
Excreção 118
Exoderme 146, 148
Exotécio 220
Exotérmico 30, 39
Exógeno 121

F

Fagus silvatica 118, 130
Fagus americana 118
Faia 118, 130
faixa protetora 274
Famílias 180
Fator em mínimo 75
Fava 158
favas de pichurim 282
Fedegosos 244
Feixes 100
Feixes abertos 103
Feixes concêntricos 111
Feixes na raiz 112
feijão 245, 282
Felogênio 117
Ferro 28, 72
Fetos 122
Ficociana 37, 182
Ficoxantina 37
Ficoeritrina 37
Ficus 251
Ficus bengalensis 149
Ficus doliaria 147
Ficus elastica 119
Ficus repens 123
Ficus sp. 147
Figo 227
Figueiras 147, 149, 251
Figueiras brancas 149
Filête 218, 219
Filicineae 79, 90, 113, 202, [206
Filocládio 138
Filogenético 80
Filotaxia 135
Fios de Hecht 50
Fisiologia 12
Fisiologia do desenvolvimento 95, 156
fisionomia 259
fitoecologia 261
Fitogeografia 13, 258
Fitoquímica 13
Flagellatae 80, 153, 186
Flagelados clorofilados 185
Floema 102
Flor 205, 215, 220
Flor acíclica 222
Flor cíclica 222
flor ligulada 258
Flor-de-papagaio 131, 253
flores liguladas 257
floresta ciliar 266
florestas das monções 270
Florestas decíduas 264, 270, [280
florestas de chuva 263, 269
florestas de chuvas subtropicais 263
floresta de fôlhas caducas 262
Fôlha 121
Fôlhas alternas 135
Fôlhas aquáticas 128

Fôlhas carpelares 217
Fôlhas coletoras 131
Fôlhas compostas 125
Fôlhas de sol 128
Fôlhas de sombra 128
Fôlhas insetívoras 132
Fôlhas opostas 135
Fôlhas primárias 129
Fôlhas sempreverdes 127
Fôlhas simples 125
Fôlhas tipos diversos 125
Fôlhas verticiladas 135
Fôlhas xerofíticas 127
Folículo 217
Fôrça de sucção da célula 49
Fôrça de sucção do solo 53
Formaldeído 35
Fortuna 171
Fósforo 28, 72, 73
Foeniculum vulgare 236
Fototactismo 152
Fototropismo 160
Fotossíntese 28, 59, 121
Fototropismo negativo 150, 160
fumo 254, 282
Funaria hygrometrica 198
Fungi 85, 87, 194
Funículo 212, 218
Furcellaria 87
Fuso nuclear 97
Fragaria 243
Fragaria vesca 140
Fritillaria imperialis 94
Fruto 215, 226
Fruto carnoso 226
Frutose 31

G

galerias 266
Gallesia 149
Gametângios 187
Gametângios pluriloculares 193
Gametófito 192
Gamopetalae 241, 224
Garfo 171
Gavinha 123, 134, 138, 162
Gay-Lussac 43
Gema 129
Gemação 168
Gema dormente 136
Gen 176
Gênero 179
Genus 179
Geonoma 237
Geotropismo 158
Germinação das sementes 231
Gineceu 219
girassol 258
Glândulas 221
Glândulas de néctar 132
Glândulas das plantas insetívoras 120
Glicogênio 182
Gloecapsa 82, 183
Glucose 31
glumas 235, 236
Glumiflorae 235
Goethe 221
goiaba 245
Gomas 119
Gomo 129
Gomo adventício 157
Gomo dormente 155
Gomose 172
Gonium 193
Gonium pectorale 82
Gossypium 116, 226, 247
Grãos polínicos 213
gradiente de temperatura 264
Grama dos jardins 122, 140
Gramineae 235
Gramíneas 230
great plains 270
Guapuruvu 136
guaraná 281
Gymnospermae 102, 105, 106, [107, 151, 207, 208, 215, 218, [229
Gynandrae 240
Gynandrophoro 248
Gynoeceum 219
gynostemio 240, 271, 243

H

Haberlandt 95, 160
habitat 274
Haematococcus 153, 169
Haematoxylum campechianum 109
Hales 69
halófita 270, 276
halofítica 276
Halophytas 270
Hancornia speciosa 120
Haustórios 149
Hematoxylina 109
Hepaticae frondosae 57
Haplobiontes 178
Haplodiplobiontes 178
Haplóides 175
Haplofase 177
Hedera helix 128
Hedychium 238, 239
Helianthus 258
Helicônia 238
Helleborus 58
Helobiae 234
Hepaticae 56, 92, 197, 201
Hepaticae foliosae 57
Hera 128
Hera miúda 122, 130
hercogamia 223, 235
Heterocistos 183
Heterofilia 128
Heterogamia 175, 187
heterotalia 197
Heterosporia 205
Heterótrofo 40
Heterostilia 253
Heterostylia 253
Hevea 251
Hevea brasiliensis 119, 280
Hexoses 29, 31
Hialoplasma 19
hibiscos 247
Hibiscus 247, 249
Hidatódios 62
Hidrogênio 28, 71
Hidrotropismo 161
Hifas 87
Higrofitas 62, 114
Higromorfo 128
Hiléia 278
Hiléia Amazônica 278, 280
Hilo 33, 231
Hipertônico 51
Hipocotile 229
Hipoderme 61
Hipógino 225
Hipotônico 51
Hippuris 90, 91
Histologia 12
Hofmeister 210
Holarktis 260
homotalismo 197
Hormônios de crescimento 155, [160
Hordeum 236
Hordeum vulgare 143
Humboldt 110
Humidade relativa 55
Húmido 266
Humus 45
Hyaloplasma 19
Hydromystria stolonifera 143
Hydropteridae 206
Hygrophyta 62, 114
Hylaea 278
Hymenophyllaceae 60, 62
Hypericum perforatum 120
Hypertônico 51
Hyphae 87
Hypocotile 229
Hypoderme 61
Hypogyno 225
Hypotônico 51
Hyponastia 163

I

igapós 280
Ilex Paraguayensis 281
ilhas 278
Imbaúba 271
imbuia 281
Imperata 236
Impulso da água pelas raízes 64, 65, 69
Inflorescência 225
Infrutescência 227
Integumento 211, 218
Intine 214
Invertase 44
ipê 254
Ipomoea glabra 223
Iridaceae 234
íris 88, 98, 223
Isogamia 175, 187
Isosporia 205
Isosmótico 51
Isotônico 51

J

Jabuticaba 225, 245
Jacarandá 254
Jennings 81
joàzeiro 281
Juncaceae 235
Jungermanniales 29, 93
Jussiaea 147

K

Kjellmania 188
Koegl 155

L

Labiatae 254
Labiatas 224
Lábio inferior 224
Lábio superior 224
Lactuca virosa 119
Laelias 241
Lâmina 122
Laminária 92
laranja 283
Laranjeira 120, 250
laranjeiras 248
Laranjeiras azêdas 172
laterito 273
Látex 119
Lauraceae 233, 242
Laurus 262
lavagem interior do solo 273

legume 244
Leguminosae 75, 109, 123, 163, [164, 229, 244, 245
Leite coalhado 44
Lemna 277
Lemna trisulca 37
Lençol d'água subterrâneo 145
lençol subterrâneo de água 266
Lenho de poros em anel 108
Lenho de poros dispersos 108
Lenho primaveril 107
Lenho secundário 104
Lenho tardio 107
Lenticelas 117, 147
Leontodon Taraxacum 145
Lepidodendrales 207
Lepidodendron 113, 207
Lepidospermae 207
Lêsmas 119
Lethal 261
Leucoplastos 21, 23, 33
Líber 102
Lichen 76, 170
Lignina 24, 100
Liguliflorae 257
Liliaceae 222, 234
Liliiflorae 234
Lilium 234
Lilium Martagon 212
limão 283
Limbo 122
limite alpino da floresta 262
limite da floresta 262
Limites entre o reino animal e vegetal 105
Limites de temperatura 27
limoeiros 248
Linho da Nova Zelândia 113, [114
Liquens 76, 170
lírio 234
lírio do brejo 238
Lisígeno 120
Litoral 277
Lobaria pulmonaria 77
Loculicida 226
lodiculae 236
longistyla 253
Loranthaceae 149
loureiro 262
Loureiro rosa 60
Luta pela vida 201
Lycopersicum 254
Lycopodium 206
Lycopodineae 204, 206, 207
Lyginodendron 208
Lygodium volubile 122
Lyngbya aestuarii 82, 183
Lysigeno 120

M

Macieira 227
Macrosporângio 206
Macrozamia 218
Magnésio 35
Magnol 70
Magnólia 221
Malícia de mulher 164
Malpighi 69
Malte 43
Malvaceae 141, 247, 249
mamão 248
mamangaba 251
mamona 104, 229, 231, 251
Mancha ocelar 152
mandioca 251, 283
Mangabeira 120
Manganês 28, 72
Mangue 146, 230, 232, 246
Manguezal 146
Maniçoba 120
Manihot 120, 251
Maracujá 179, 248, 250
Marchantia 56, 170, 200, 201
Marchantia polymorpha 170, [201
Marchantiales 93
marfim vegetal 98, 280
Marmelo 228
Mason e Maskell 70
matas costeiras 281
Mata-pau 146, 147
Mato Grosso 282
Mecanismo de turgescência [133
Medula 107, 108
Megásporo 206, 208, 210
Megasporângio 206, 210
Meiose 175
Melastoma 248
Melastomaceae 246
Membrana celular 24
Mendel, G. 11
Meristema 85, 90, 94, 116, 157
Meristema secundário 116, 157
Merulius domesticus 41
Mesembryanthemum 251
Mesocarpo 227
Metabolismo 13, 27
Metabolismo construtivo 29, [45
Metabolismo energético 29, 45
Metachlamydeae 241
Metafase 96
Metamorfose 221
Metzgeria 89
Monções 269
Monoblepharis 194
Monochlamydeae 241
Monóclino 220
Monocotyledoneae 102, 103, [111, 113, 125, 180, 223,229
Monóico 220
Monopodial 137, 226
Monossacarídios 29, 31
Monossifão 87
Monstera 238
Moraceae 110, 227, 251
Morango 243, 244
Morangueiro 140
Morfologia 12, 121
Morgan 176
Morus alba 227
Morus nigra 227, 228, 251
Mostarda 53, 60, 155, 161
Mougeotia 21, 22, 163
Movimento ameboide do núcleo 22
Movimento circunutatório 140
Movimento por crescimento [154
Movimento rotativo 140
Movimento de variação 164
Micorriza 76
Micro-protalo 213, 214
Micrósporos 206, 214
Microsporofilos 219
Microsporângios 206, 219
Micrópila 211
Micropyle 211
Microsomos 21
Milho 72, 100, 101, 145, 230, [232, 236
mil homens 242
Miltonias 241
Mimosa 164, 244, 245
Mimosa pudica 164, 165
Mimosa sensitiva 165
Mimoseae 244
Mucilagens 119
Mudas 140, 170
Muehlenbeckia platyclada 138
Muench 70
Muguet 130, 131
Multiplicação vegetativa 167
Mumificação 120
Musa 238, 239
Musa Cavendishii 179
Musa paradisíaca 179
Musaceae 238, 239
Musci 63, 197, 200
Musgos 63, 197, 200
Mycoderma aceti 83
Mycorrhiza 76
Myrciaria 246
Myriophyllum 35
Myrsiphyllum asparagoides [140
Myrtaceae 245
Myrtales 245, 248
Myrtus 245, 248
Myxophyceae 182

N

Najas narina 96
Narcótico 166
Nastia 163
Nastismo 163
Néctar 221
Nectários 121, 221
Nemec 160
Neotropis 260
Nepenthaceae 132
Nepenthes vilosa 132
Nereocystis Lutkeana 92
Nerium Oleander 59, 60, 157
Nervuras paralelas 125
Nicotiana 254
Nictinastia 163
Nitella 277
Nitrogênio 28, 71, 72, 74, 274
Nordeste sêco 270, 279
Nostoc verrucosum 82, 183
noz 254
Nucelo 211
Núcleos polares 211
Nucléolos 19
Nuculus 254
Nuculiferae 254
Nutações 164
Nyctagynaceae 251
Nyctinastia 163
Nymphaea 41, 242
Nymphaeas 277
Nymphaeaceae 242

O

oásis 266
Ochromonas 185, 186
Odontoglossum 241
Oecologia 13
Oedogonium 84
Oenothera odorata 63
Oligodinamismo 17
Olhos 171
Oncidium 241
Onze horas 251
Orbignya 237
Orbignya Martiana 281
orchard bush 270
Orchidaceae 96, 179, 223, 224, [240
Orchideas epifíticas 142
Ordsm 179
Organizadores 156
Organografia 12

Ornitophilia 221
Orthostiche 135
Ortogeotropismo 136, 139
Orto-fototrópicos 160
Ortóstica 135
Oryza 236
Oogamia 187
Oogônio 189
Oosfera 154, 187, 194, 198, 210, [211
Opuntias 138
Oscillariaceae 183
Oscillaria princeps 132, 183
Osmose 46
Osmômetro 48
Osmótico 24, 46
Ostíolo 57
Ovário 217, 221, 225
Ovário composto 217
Óvulos 210, 211, 217, 218
Óvulos anátropos 219
Óvulos campilótropos 219, 230
Óvulos retos 219
Oxalato de cálcio 118, 119
Oxidações 29, 30, 39
Oxigênio 28, 29, 34, 117, 147, [153

P

paineiras 226, 247
páleas 236
Paleobotânica 13
Paleontologia 13, 182
Paleotropis 260
Palmae 233
Palmeiras 122, 125, 130, 138, [237
Palmito 122
pampas 270
Pandanaceae 237
Pandanus 237
Pandanus brasiliensis 146
Panículo 225
Panicum 280
Papaver 246
Papaveraceae 247
Papaya 248
Papilionaceae 179, 224
Papilionatae 247
papoula 246
pappus 257, 258
Parasitas 140
parasitismo 275
Parreira 172
Parênquima 87, 95, 98
Parênquima aquoso 100, 114
Parênquima assimilador 99, [124
Parênquima lacunoso 124
Parênquima lenhoso 101
Parênquima de movimento
Parênquima paliçádico 38, 124
Parênquima de reserva 99
Parmelia acetabulum 77
Passiflora 174, 250
passifloras 248
Passifloraceae 248, 250
Pasteur 44
Pau-brasil 109
Pau-d'alho 149
Paullinia sorbilis 281
Pecíolo 122, 123
Pedologia 272
Pelargonium 115
Pellionia 33
Pêlos 115, 127
Pêlos absorventes 53, 143
Pennicilium 169
Pentacyclicae 253
Peperomia 33
pepinos 256
Pereira 227
Perianto 222
Pericarpo 226
Periciclo 112, 144
Perigino 225
Perigônio 222
Persea 242
Persea Pichurim 282
Pêso a fresco 72
Pêso a sêco 72
pêssegos 244
Pétalas 221
Pettenkofer 41
Pfeffer, W. 11, 48
Phacus 186
Phaeophyceae 187, 194
Phajus 240, 241
Phanerogamae 180, 207
Pharbitis sp. 140, 223
Phaseolus 245
Phaseolus vulgaris 129
Phellogenio 117
Philodendron 147, 238
Phloema 102
Phoebe porosa 281
Phoenix 237
Phormium tenax 113, 127
Photosinthese 28
Phycocyana 37
Phycomycetes 194
Phycoxanthina 37
Phyllocladio 138
Phylogenese 14
Phylogenia 80
Phyllodio 128
Phyllotaxia 135
Phylloxera 172
Phylum 179, 180
Physiognomia 259
Physiologia 12
Physoerythrina 37
Phytelephas 98, 280
Phytochimica 13
Phytogeografia 13
píceas 262
Picea excelsa 211
Pico de Teyde 264
pimenta 251
Pinheiros 136, 259, 260, 271, [281, 283
Pinheiro do Paraná 216, 219, [220
Pinho de Riga 106, 215
Pinnularia oblonga 167
Pinus 106
Pinus silvestris 106, 215
Piper 251
Piperaceae 225, 251
Pirenóides 22
Pistilo 217
Pisum 245, 247
Pisum sativum 41, 123
Pita 234
Placa nuclear 96
Placenta 218
Placentação 218
Plagiogeotropismo 136, 144, [159
Planococcus 81, 184
Plantas de pântano 147
planta de sombra 271
Plantas dormideiras 163
Plantas epifíticas 146
planta polar 264
Plantas suculentas 62
Plasma 18
Plasmodesmos 82, 97
Plasmólise 49
Plasmólise limite 51
Platicerium alcicorne 132
Plectênquima 87
Plectonema Tomasinianum 84
Pleroma 94
Pluricarpelado 217
pluviisilvae 269
Pneumatóforos 147
Poa annua 58
Poa secunda 136
Podospora 195
Polaridade 157
Polinização 221, 223
Polissacarídeos 32
Polistele 113
Polycarpicae 233, 242
Polygonaceae 138
Polypodium Catharinae 23
Polystele 113
Polytrichum 198
Pomaceae 227
Pontas-goteiras 125, 128
Ponto vegetativo 86, 91
Pontuações 97
Pontuações areoladas 106
Populos 149, 251
Poros 97
Potamogeton 277
Potássio 28, 72, 73
"prados" flutuantes 278
precipitação anual 267
Prefloração 221
Pressão da membrana 49, 50
Primavera 131, 251
Prímula 253
Primulaceae 253
Primulades 253
Profase 96
Propágulos 170
Prosênquima 98
Protalo 202, 204
Protandria 223
Protistas 185
Protofloema 102
Protogynia 223
Protoplasma 18, 28
Protoplasma estado de agregação 18
Protoplasma motilidade 20
Protostele 112
Protoxilema 102, 112
Prova de iôdo 32
Prunus avium 129
Prunus 244
psamofítica 276
psamófitas 271, 276
Psammophyta 271
Pseudobulbos 142
Pseudomonas 81, 183
Pseudoparênquima 87
Pseudopódios 22
Pseudo-ramificação 84
Psidium 245
Pteridophyta 91, 181, 201
Pteridophyta heterosporadas [205
Pteridospermae 207
Punica 246
Punicaceae 246
Pyrenoide 22
Pyrostegia 254, 255

Q

quaresmeira 246
Quercus suber 117
Quiasma 177
Quimionastia 163
Quimiossíntese 46, 80

Quimiotactismo 153
Quimiotropismo 161

R

Racêmico 226
Radícula 229
Ráfides 119
Raios medulares 107
Raiz 202
Raízes adventícias 157
Raízes aéreas 145
Raízes de suporte 146
Raízes escoras 149
Raiz fasciculada 144
Raiz pivotante 133, 145
Raízes respiratórias 146
Raízes secundárias 144
Raízes sugadoras 149
Raízes tuberosas 145
Raízes tubulares 147
Ramificação do caule 137
Ramificação verdadeira 84
Ramos compridos 137
Ramos curtos 137
Ranunculus repens 103
Raphides 119
Reação de plantas 151
Reação do solo 74
Reação endotérmica 30
Reação exotérmica 30
Reações fotoquímicas 30
Receptáculo 222
Redução 175
reflorestamento 283
reflorestamento natural 283
Regeneração 157
Reparação 157
Reprodução sexuada 172
Resinas 120
Respiração 39, 117
Restituição 157
Rhizophora 246
Rhizophoraceae 246
Rhizophora conjugata 232
Rhizophora Mangle 146, 230
Rhizopoda 185
Rhizopus 195
Rhodophyceae 87, 92, 191, 192, [194
Rhytidoma 117
Ricinus 251
Ricinus communis 104, 229, 230
rio Guaporé 282
Ritidoma 117
Rizóides 91, 197, 202
Rizomas 140
Robinia Pseudacacia 109
Rosa 244
Rosaceae 243, 244
Roseiras 171
Rosiflorae 243
Rosmarinus officinalis 60, 121
rostellum 241
rostelo 241
Rubiaceae 256
Ruta 248, 250
Rutaceae 248, 250

S

Sabugueiro 117
Saccharomyces 43, 168
Saccharomyces cerevisiae 43, [168
Saccharum officinarum 115, [236
Sachs, Julius 32, 54, 95, 158
Saco embrionário 210, 212
Sacos polínicos 219
Sagittaria 234
Saia Branca 39, 124, 254
Salgueiro 217, 251
Salicaceae 251
salinas 270
Salix 251
Salix alba 217
Samambaias 202
Samambaiuçus 136, 202
Sâmaras 226
Sambucus nigra 117
Sanchezia mobilis 224
sangue de dragão 251
sapé 236
sapé (Imperata) 236
Sapindaceae 110
Saprofitas 40
saprofíticas 275
Saprolegnia 194
Sarcina 81, 184
Sargassum 92, 194
Sarracenia lactiniata 132
Sarracenia variolaris 132
savana 270, 278
Schiffneria hyalina 93
Schizolobium excelsum 136
Schizogeno 120
Schizomycetes 184
Schizophyceae 182
Schizophyta 19, 182
Schumacher 70
Schwendener 77
Scirpus 277
Scitamineae 238
Sclerophyllo 127
Sclerenchyma 102
Scutellum 230
Sebes 136
Sêca fisiológica 54, 261
Secale 236
Sechium edule 162
Secreção 118
Seismonastia 165
Seiva ascendente 63
Seiva bruta 63
Seiva descendente 63
Selaginella 205, 206
Selaginella inaequalifolia 205
Semente 215, 227
semidesertos 270
Semiparasitas 150
Semipermeável 25
Semipermeabilidade 47, 133
Sensitivas 164
Sépalas 221
Septicida 226
Septos falsos 217
Sequoia 135, 109
sêres 278
seringueira 119, 280, 283
seringueiras 251
Serjania 111
Sida macrodon 141
Sifonostele 112
Silvicultura 283
Simbiose 75
Simpétalas 224
Simpódio 137
Sinapis alba 53, 155, 160, 161
Sinérgidas 211
Sistemática 12, 178
Sobreiro 117
sociologia 275
Solanaceae 254
Solanum 254
Solanum tuberosum 33, 140
solo tropical 273
Somático 90
Sorédios 170
Soros 203
Spadiciflorae 237
Spartium junceum 224
Species 178, 181
Sphacelaria scoparia 88
Sphenophyllales 207
Spirema 96
Spirillum 81, 183, 186
Sporodinia grandis 174
Spirogyra 17, 18, 34, 52, 79, [83, 168, 174, 177, 193
Sporophyllo 198
Sporophyto 213
Stalfelt 59
Statolithos 160
Stenotaphrum americanum 60, [140
Sterculiaceae 247
Stoll 35
Strasburger 68
Streptococcus 81, 184
Stryphnodendron 275
Sub-espécie 179
Súber 116
Suberina 24, 117
Substâncias pecticas 97
Sucção do interior 49
Sucessão 276
Sulfobactérias 45
Suspensor 229, 230
Symbiose 76
Sympetalae 224, 241
Sympodio 137
Synergidas 211

T

Tabebuia 254
taboa 238
Tabuas 225, 277
Tactismo 152
Talo 56
Talófita 93
tamareira 237
Tapetum 205, 220
Tecido 87
Tecidos excretores 118
Tecido fundamental 95
Tecido lacunoso 38
Tecidos meristemáticos 156
Tecidos secretores 118
Tecoma 254
Tectona grandis 270
Telofase 97
Tépalas 222
temperatura letal 261
Temperatura máxima 154
Temperatura mínima 154
Temperatura ótima 154
Teoria estelar 112
Terebinthales 248
Termobactérias 27
Termonastia 163
terraceamento 274
Tetracyclicae 254
Tetraspora 172
Tetrásporos 192
Thallo 57
Thallophyta 89, 93, 181
Theobroma 247
Theobroma cacao 281
Thermobacteria 27
Thigmonastia 162, 163
Thigmotropismo 162
Thyllas 109
Tibouchina 246, 248
Tigmonastia 162
Tigmotropismo 162
Tila 109
Tília ulmifólia 108, 109, 110

Tillandsia 234
tomate 254, 282
Torção 124
Tortula 199
Tradescantias 20, 235
Tradescantia virginica 161
Tradescantia zebrina 20, 25
Transmisão das excitações 160
Transpiração 54
Transpiração estomatar 60, 114
Transpiração cuticular 60, 114
Trapoeraba 20, 21, 160
Trapoerabas 235
Traquéias 100, 101
Traqueídes 105
Traqueídes deitadas 107
Trepadeira 110, 139
Trianea bogotensis 143
Tricoccae 251
trichogyne 191
trigo 34, 236, 283
Trimeria 223
Triticum 236
Triticum durum 34
Trofofilo 204
Trombeteira 39, 124
Tropaeolum 23
Tropaeolum majus 32
Trophophyllo 204
tropicais montanhosas 263
Tropismos 158
tropofíticas 262, 281
Tubérculos 142
Tubuliflorae 257
Tucum 237
Tulipa 222
tundra 259, 261
tungue 251
Turgescência 25
Typha 238, 277
Typhaceae 237

U

Ulotrix 168, 169
Ulothrix Oedogonium 193
Umbela 225, 226
Umbelliferae 122, 126
Unger 151
Urtica 116
Urticaceae 251
Urticales 251
Urtiga 116, 251
urucurana 251
Utricularia 134, 277

V

Vácuo de Torricelli 42, 66
Vacúolo 18, 24
Vanilla 241
Vant'Hoff 48
Variação do turgor 164
Vasos crivados 63, 101
Vasos lenhosos 63, 100
Vasos resiníferos 120
Vaucheria 151, 190, 193
Vegetação de montanhas 263
Velame 146
Vernizes 120
vexillum 224, 245 247
Vicia Faba 158
Victoria regia 242
Viola tricolor 115
Viscum album 98
Vitória-régia 280
Volvocales 82, 83
Volvox 83, 193
Volutina 182

Z

Zamia 214
Zantedeschia 57, 238
Zea Mays 72, 100, 232, 236
Zimase 44
Zingiberaceae 238, 239
Zigósporo 174
Zigoto 173, 174, 176
Zizyphus Joazeiro 281
zona das coníferas 262
Zona de distensão 154, 158
Zona dos campos 281, 282
zona dos cocais 281
Zoosporângeos 168, 193
Zoósporos 151, 168
Zymase 44
Zygnema 174, 175, 193
Zygomycetes 174, 175, 195
Zygosporo 174

X

Xantophylla 35
Xerófitas 61, 115, 127
Xeromorfo 62, 127
Xilopódios 141, 142
Xylema 102

W

Went 155
White 64
Willstaetter 35
Winogradsky 75